

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 9 月 2 5 日
Date of Application:

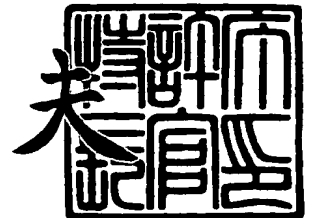
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 3 2 6 4 0
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 3 2 6 4 0]

出 願 人 T D K 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 1 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 3 2 2 7

【書類名】 特許願
【整理番号】 99P05988
【提出日】 平成15年 9月25日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02B 27/28
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 花島 直樹
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 木練 透
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社内
 【氏名】 秦 健次郎
【特許出願人】
 【識別番号】 000003067
 【氏名又は名称】 T D K株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100078031
 【氏名又は名称】 大石 皓一
【選任した代理人】
 【識別番号】 100121681
 【氏名又は名称】 緒方 和文
【選任した代理人】
 【識別番号】 100126468
 【氏名又は名称】 田久保 泰夫
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2002-321305
 【出願日】 平成14年11月 5日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 074148
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

導波路層と、前記導波路層に設けられた溝と、前記溝を介して対向する複数対のスポットサイズ変換素子とを備えるアレイ状の導波路埋め込み型光回路であって、前記スポットサイズ変換素子は、いずれも、第 1 のコア及び第 1 のクラッドからなる第 1 の光導波路部分と前記第 1 のクラッドの延長部分である第 2 のコア及び第 2 のクラッドからなる第 2 の光導波路部分とを少なくとも備えていることを特徴とする導波路埋め込み型光回路。

【請求項 2】

前記スポットサイズ変換素子は、いずれも、前記第 1 の光導波路部分と前記第 2 の光導波路部分との間に設けられ前記第 2 の光導波路部分に向かうにつれて前記第 1 のコアが徐々に細くなる遷移導波路部分をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 3】

前記第 1 のクラッドが前記第 1 のコアの実質的に全面を覆っていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 4】

前記第 1 のコアの中心と前記第 2 のコアの中心とがほぼ同一軸上に位置することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 5】

前記スポットサイズ変換素子を伝搬する光の光軸に垂直な面に対し、前記溝が斜めに形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 6】

前記溝に挿入された光アイソレータ素子をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 7】

前記光アイソレータ素子は、前記スポットサイズ変換素子を伝搬する光の光軸に垂直な面に対し斜めに挿入されていることを特徴とする請求項 6 に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 8】

前記溝に挿入された光フィルタをさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の導波路埋め込み型光回路。

【請求項 9】

導波路層と、前記導波路層に設けられた溝と、前記溝を介して対向する複数対の埋め込み型光導波路とを備えるアレイ状の導波路埋め込み型光回路の前記溝に挿入可能な光学素子であって、前記溝を介して前記複数対の埋め込み型光導波路を伝搬する光が通過する領域を備えることを特徴とする光学素子。

【請求項 10】

前記光学素子は、磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面に設けられた第 1 及び第 2 の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面に設けられた第 3 及び第 4 の複屈折板とを含むことを特徴とする請求項 9 に記載の光学素子。

【請求項 11】

前記第 1 及び第 2 の複屈折板の境界線並びに前記第 3 及び第 4 の複屈折板の境界線は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、複数対の埋め込み型光導波路の配列方向と実質的に一致することを特徴とする請求項 10 に記載の光学素子。

【請求項 12】

前記第 1 及び第 2 の複屈折板は前記磁気光学素子の前記一方の面において交互に配置され、前記第 3 及び第 4 の複屈折板は前記磁気光学素子の前記他方の面において交互に配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載の光学素子。

【請求項 13】

前記第1及び第2の複屈折板は前記磁気光学素子の前記一方の面において格子状に配置され、前記第3及び第4の複屈折板は前記磁気光学素子の前記他方の面において格子状に配置されていることを特徴とする請求項10に記載の光学素子。

【請求項14】

前記第1及び第3の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、各埋め込み型光導波路を伝搬する光のビームスポットの半分が照射される位置に配置され、前記第2及び第4の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、各埋め込み型光導波路を伝搬する光のビームスポットの残りの半分が照射される位置に配置されていることを特徴とする請求項10乃至13のいずれか1項に記載の光学素子。

【請求項15】

前記第1及び第3の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、前記複数対の埋め込み型光導波路のうち所定の導波路埋め込み型光回路対を伝搬する光のビームスポットが照射される位置に配置され、前記第2及び第4の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、前記複数対の埋め込み型光導波路のうち前記所定の導波路埋め込み型光回路対に隣接する他の導波路埋め込み型光回路を伝搬する光のビームスポットが照射される位置に配置されていることを特徴とする請求項12に記載の光学素子。

【請求項16】

前記第1乃至第4の複屈折板の光学軸は、所定の基準軸に対してそれぞれ $+22.5^\circ$ 、 -67.5° 、 -22.5° 及び $+67.5^\circ$ に設定されていることを特徴とする請求項10乃至15のいずれか1項に記載の光学素子。

【請求項17】

前記光学素子は、磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面において所定間隔で設けられた第1の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面において所定間隔で設けられた第2の複屈折板とを含むことを特徴とする請求項9に記載の光学素子。

【請求項18】

前記第1及び第2の複屈折板は、前記磁気光学素子を介して実質的に互いに対向しない位置に配置されていることを特徴とする請求項17に記載の光学素子。

【請求項19】

磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面において交互に設けられた第1及び第2の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面において交互に設けられた第3及び第4の複屈折板とを備えることを特徴とする光学素子。

【請求項20】

磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面において所定間隔で設けられた第1の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面において所定間隔で設けられた第2の複屈折板とを備えることを特徴とする光学素子。

【請求項21】

導波路層と、前記導波路層に設けられた溝と、前記溝を介して対向する複数対の埋め込み型光導波路と、前記溝に挿入された光学素子とを備え、前記光学素子は、前記溝を介して前記埋め込み型光導波路を伝搬する光が通過する複数の領域を備えることを特徴とする導波路埋め込み型光回路。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 導波路埋め込み型光回路及びこれに用いる光学素子

【技術分野】

【0001】

本発明は導波路埋め込み型光回路及びこれに用いる光学素子に関し、さらに詳細には、複数の埋め込み型光導波路を備えるアレイタイプの導波路埋め込み型光回路及びこれに用いることが可能な光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、情報伝送の高速化・大容量化を達成すべく光通信が幅広く利用されている。光通信においては、目的に応じ、光導波路（光ファイバや埋め込み型光導波路）の所定の部分に光アイソレータ、光サーキュレータ等の光非相反デバイスが適宜挿入される。

【0003】

光アイソレータや光サーキュレータ等の光非相反デバイスは、特許文献1に記載されているように、一般にファラデー回転子や偏光子等からなる光学素子が2つのレンズ間に配置された構成を有している。しかしながら、このような構成を有する光非相反デバイスは、部品点数が多いことから小型化が困難であるとともに、精密な光軸調整が必要であることから製造コストが高くなるという問題があった。このため、レンズを用いることなく、光導波路を分断して設けられた溝にファラデー回転子や偏光子等からなる光学素子を直接挿入する導波路埋め込み型の光回路が注目されている。

【0004】

導波路埋め込み型の光回路は、これが挿入される光導波路を含めた全体のサイズを小型化することができるため、特許文献2に記載されているように、複数本の埋め込み型光導波路上に光学素子を並列に配置したアレイタイプの光回路を構成することも可能である。このように光回路をアレイ状に配置すれば、1チャンネル当たりの設備コストを大幅に低減することが可能となる。

【0005】

しかしながら、溝によって分断された光導波路を光が伝搬する場合、分断された部分において主に回折現象に起因する損失が発生する。図33はこれを説明するための図であり、コア41a及びクラッド41bからなる光導波路41からコア42a及びクラッド42bからなる光導波路42へギャップを介して光40が伝搬する様子を、コア径が小さい場合(a)とコア径が大きい場合(b)とに分けて模式的に示している。図33(a)、(b)に示すように、光導波路41より出射する光は回折現象によって広がるため、ギャップ幅dが大きいほど回折損失は増大する。一方、図33(a)と図33(b)とを対比すれば明らかなように、回折現象はビームスポット径が小さいほど顕著となるため、回折損失を低減するためには、ギャップ幅dを狭くするとともにビームスポット径を大きくすればよい。

【0006】

このため、溝によって分断された光導波路が光ファイバである場合、その終端部においてコア径が局所的に拡大されたTEC(Thermally Expanded Core)ファイバを用いることによってスポットサイズを変換すれば、回折現象に起因する損失を低減することができる。TECファイバにおけるコアの拡大は、広く知られているようにマイクロバーナやヒータ等による加熱によって行われる。

【0007】

しかしながら、埋め込み型の光導波路は、光ファイバに比べて熱容量が非常に大きいことから、TECファイバのように、加熱によってコア径を局所的に拡大することは困難である。このため、埋め込み型の光導波路においては、光非相反デバイスが挿入される溝部において回折現象に起因する損失が大きくなるという問題があった。

【0008】

【特許文献1】 特開平10-68910号公報

【特許文献2】特開平11-119158号公報

【特許文献3】特開平10-339848号公報

【非特許文献1】Efficient coupling of a semiconductor laser to an optical fiber by means of a tapered waveguide on silicon (Appl. Phys. Lett. 55(23), 4 December 1989, pp2389-2391)

【非特許文献2】Polymeric buried core adiabatic optical spot-size transformer (ELECTRONICS LETTERS Vol.38, No.7, 28th March 2002, pp319-321)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

このように、埋め込み型光導波路に溝を設け、ここにファラデー回転子や偏光子等の光学素子を直接挿入する場合、溝部において大きな損失が発生してしまうため、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしてアレイタイプの光回路を構成した場合においては、回折に起因する損失がチャンネルごとに発生するという問題があった。

【0010】

したがって、本発明の目的は、溝部における損失が低減されたアレイタイプの導波路埋め込み型光回路を提供することである。

【0011】

また、本発明の他の目的は、アレイタイプの導波路埋め込み型光回路に用いることが好適な光学素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明による導波路埋め込み型光回路は、導波路層と、前記導波路層に設けられた溝と、前記溝を介して対向する複数対のスポットサイズ変換素子とを備えるアレイ状の導波路埋め込み型光回路であって、前記スポットサイズ変換素子は、いずれも、第1のコア及び第1のクラッドからなる第1の光導波路部分と前記第1のクラッドの延長部分である第2のコア及び第2のクラッドからなる第2の光導波路部分とを少なくとも備えていることを特徴とする。

【0013】

本発明によれば、対となるスポットサイズ変換素子のうち、一方のスポットサイズ変換素子の第1の光導波路部分へ入射する光は、そのビームスポットが拡大されて第2の光導波路部分を伝搬した後、溝を介して対向する他方のスポットサイズ変換素子の第2の光導波路部分へ入射し、そのビームスポットが再び縮小されて第1の光導波路部分を伝搬する。このように、溝を介して伝搬する光のビームスポットが拡大されていることから、回折現象に基づく損失を大幅に低減することが可能となる。これにより、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしつつ、各チャンネルにおいて発生する回折損失を低減することが可能となるので、良好な特性を有するアレイタイプの導波路埋め込み型光回路を提供することが可能となる。

【0014】

また、前記スポットサイズ変換素子は、いずれも、前記第1の光導波路部分と前記第2の光導波路部分との間に設けられ前記第2の光導波路部分に向かうにつれて前記第1のコアが徐々に細くなる遷移導波路部分をさらに備えていることが好ましい。これによれば、遷移導波路部分においてスポットサイズ変換を行うことが可能となる。

【0015】

また、前記第1のクラッドが前記第1のコアの実質的に全面を覆っていることが好ましい。さらに、前記第1のコアの中心と前記第2のコアの中心とがほぼ同一軸上に位置することがより好ましい。これによれば、第1の光導波路部分を伝搬する光のビームスポットの中心と第2の光導波路部分を伝搬する光のビームスポットの中心とがほぼ一致することから、より効率よくビームスポット変換を行うことが可能となる。

【0016】

また、前記スポットサイズ変換素子を伝搬する光の光軸に垂直な面に対し、前記溝が斜めに形成されていることが好ましい。これによれば、溝部分において生じる反射光の戻りを防止することが可能となる。

【0017】

また、前記溝に挿入された光アイソレータ素子をさらに備えることが好ましい。これによれば、低損失な光アイソレータアレイや光サーキュレータアレイを提供することが可能となる。

【0018】

さらに、前記光アイソレータ素子は、前記スポットサイズ変換素子を伝搬する光の光軸に垂直な面に対し斜めに挿入されていることが好ましい。これによれば、磁気光学素子の表面において生じる反射光の戻りを防止することが可能となる。また、上述のように溝が斜めに形成されている場合には、磁気光学素子の挿入角度を溝の形成角度に基づいて所定の角度に設定すれば、溝の傾きにより生じる入射光と透過光との光軸ずれを補正することができ、これにより損失をより低減することが可能となる。

【0019】

また、前記溝に挿入された光フィルタをさらに備えることも好ましい。これによれば、低損失な光フィルタアレイを提供することが可能となる。

【0020】

また、本発明の一側面による光学素子は、導波路層と、前記導波路層に設けられた溝と、前記溝を介して対向する複数対の埋め込み型光導波路とを備えるアレイ状の導波路埋め込み型光回路の前記溝に挿入可能な光学素子であって、前記溝を介して前記複数対の埋め込み型光導波路を伝搬する光が通過する領域を備えることを特徴とする。

【0021】

本発明による光学素子は、アレイ状の導波路埋め込み型光回路の溝に挿入することにより、各埋め込み型光導波路対に対して所望の光学特性を与えることが可能となるので、部品点数を抑制することが可能となる。

【0022】

また、前記光学素子は、磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面に設けられた第1及び第2の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面に設けられた第3及び第4の複屈折板とを含むことが好ましい。これによれば、光アイソレータ素子として利用することが可能となる。

【0023】

ここで、本発明の好ましい実施態様においては、前記第1及び第2の複屈折板の境界線並びに前記第3及び第4の複屈折板の境界線は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、複数対の埋め込み型光導波路の配列方向と実質的に一致しており、本発明の好ましい別の実施態様においては、前記第1及び第2の複屈折板は前記磁気光学素子の前記一方の面において交互に配置され、前記第3及び第4の複屈折板は前記磁気光学素子の前記他方の面において交互に配置されており、本発明の好ましいさらに別の実施態様においては、前記第1及び第2の複屈折板は前記磁気光学素子の前記一方の面において格子状に配置され、前記第3及び第4の複屈折板は前記磁気光学素子の前記他方の面において格子状に配置されている。

【0024】

また、前記第1及び第3の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、各埋め込み型光導波路を伝搬する光のビームスポットの半分が照射される位置に配置され、前記第2及び第4の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、各埋め込み型光導波路を伝搬する光のビームスポットの残りの半分が照射される位置に配置されていることが好ましい。これによれば、アレイ状の導波路埋め込み型光回路の溝に挿入することにより、光アイソレータアレイを構成することができる。

【0025】

さらに、前記第1及び第3の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、前記複数対の埋め込み型光導波路のうち所定の導波路埋め込み型光回路対を伝搬する光のビームスポットが照射される位置に配置され、前記第2及び第4の複屈折板は、前記光学素子が前記溝に挿入された場合に、前記複数対の埋め込み型光導波路のうち前記所定の導波路埋め込み型光回路対に隣接する他の導波路埋め込み型光回路を伝搬する光のビームスポットが照射される位置に配置されていることもまた好ましい。これによれば、アレイ状の導波路埋め込み型光回路の溝に挿入することにより、光サーキュレータアレイを構成することができる。

【0026】

また、前記第1乃至第4の複屈折板の光学軸は、所定の基準軸に対してそれぞれ $+22.5^\circ$ 、 -67.5° 、 -22.5° 及び $+67.5^\circ$ に設定されていることが好ましい。これによれば、部品の共通化を図ることができるので、生産性を高めることが可能となる。

【0027】

また、前記光学素子は、磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面において所定間隔で設けられた第1の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面において所定間隔で設けられた第2の複屈折板とを含むこともまた好ましい。この場合、前記第1及び第2の複屈折板は、前記磁気光学素子を介して実質的に互いに対向しない位置に配置されていることがより好ましい。これによれば、アレイ状の導波路埋め込み型光回路の溝に挿入することにより、光サーキュレータアレイを構成することができる。

【0028】

また、本発明の他の側面による光学素子は、磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面において交互に設けられた第1及び第2の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面において交互に設けられた第3及び第4の複屈折板とを備えることを特徴とする。これによれば、アレイ状の導波路埋め込み型光回路の溝に挿入することにより、光アイソレータアレイや光サーキュレータアレイを構成することが可能となる。

【0029】

また、本発明のさらに他の側面による光学素子は、磁気光学素子と、前記磁気光学素子の一方の面において所定間隔で設けられた第1の複屈折板と、前記磁気光学素子の他方の面において所定間隔で設けられた第2の複屈折板とを備えることを特徴とする。これによれば、アレイ状の導波路埋め込み型光回路の溝に挿入することにより、光サーキュレータアレイを構成することが可能となる。

【0030】

また、本発明による導波路埋め込み型光回路は、導波路層と、前記導波路層に設けられた溝と、前記溝を介して対向する複数対の埋め込み型光導波路と、前記溝に挿入された光学素子とを備え、前記光学素子は、前記溝を介して前記埋め込み型光導波路を伝搬する光が通過する複数の領域を備えることを特徴とする。これによれば、一つの光学素子によって複数対の埋め込み型光導波路に対し所望の特性を与えることができるので、部品点数を削減することが可能となる。

【発明の効果】

【0031】

以上説明したように、本発明においては、対となるスポットサイズ変換素子が溝を介して対向しており、溝部分においてスポットサイズが拡大されていることから、信号光が溝を経由することによって生じる回折損失を大幅に低減することが可能となる。これにより、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしつつ、各チャンネルにおいて発生する回折損失を低減することが可能となるので、良好な特性を有するアレイタイプの導波路埋め込み型光回路を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、添付図面を参照しながら、本発明の好ましい実施態様について詳細に説明する。

【0033】

図1は本発明の好ましい実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路（光アイソレータレイ）10を示す図であり、（a）は略上面図、（b）は略側面図である。

【0034】

図1に示すように、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10は、基板11と、基板11上に設けられた導波路層12を備え、導波路層12に設けられた溝13には光アイソレータ素子30が挿入されている。基板11は、導波路埋め込み型光回路10の機械的強度を確保する役割を果たし、その材料としては、導波路埋め込み型光回路10の機械的強度を確保可能である限り特に限定されないが、シリコンやガラスを用いることが好ましい。導波路層12内には、埋め込み型光導波路21と埋め込み型光導波路22からなる一対の埋め込み型光導波路が複数対（図1に示す例では5対）設けられており、溝13は、これら埋め込み型光導波路21、22を分断するように斜めに設けられている。溝13の幅は、光アイソレータ素子30が挿入可能な限度においてできる限り狭く設定することが好ましい。また、光アイソレータ素子30が挿入された溝13内は光学接着剤14によって充填されており、これによって光アイソレータ素子30が溝13内に固定されている。

【0035】

図2は、光アイソレータ素子30の構造を示す略斜視図である。図2に示すように、光アイソレータ素子30は、ファラデー回転子31と、ファラデー回転子31の対向する2つの表面にそれぞれ設けられた偏光子32、33によって構成される板状体である。ファラデー回転子31は偏光を45°回転させる役割を果たし、特に限定されるものではないがビスマス置換希土類鉄ガーネット等の磁気光学結晶によって構成される。ファラデー回転子31の厚みは、その材料や埋め込み型光導波路21、22を伝搬する光の波長によって異なるが、例えば、ファラデー回転子31がビスマス置換希土類鉄ガーネットからなる場合、埋め込み型光導波路21、22を伝搬する光の波長が1.31μmである場合にあつては250μm程度に設定する必要がある。埋め込み型光導波路21、22を伝搬する光の波長が1.55μmである場合にあつては370μm程度に設定する必要がある。

【0036】

また、偏光子32と偏光子33は互いに45度異なる通過偏光方向を持ち、図2に示すようにファラデー回転子31を偏光子32、33で挟んで配置し、図示しない磁石によって磁界を光軸方向に印加することにより、非相反動作を得ることができる。偏光子32、33の材料としては、特に限定されるものではないが、偏光ガラスや、ルチルや水晶のような複屈折性結晶等を用いることができる。光アイソレータ素子30は、ファラデー回転子31と偏光子32、33とが光学接着剤により直接貼り合わされた構成であってもよいが、それぞれの表面に反射防止膜が設けられた構造であることがより好ましい。

【0037】

次に、導波路層12の内部構造について説明する。

【0038】

図3は、図1に示す領域100を抜き出して示す略斜視図であり、図4は図1に示す領域100を図3とは逆方向から見た略斜視図である。尚、図3及び図4においては、溝13に挿入される光アイソレータ素子30は省略されている（以下に説明する図5及び図6においても同様）。領域100は、導波路層12のうち、溝13を挟んで両側に埋め込み型光導波路21、22が存在する部分である。本実施態様においては、このような領域100は5対存在し、これらはいずれも同じ構造を有している。

【0039】

図3及び図4に示すように、領域100は、基板11と、下部クラッド層102-1及び102-2（これらをまとめて下部クラッド層102と呼ぶことがある）と、上部クラッド層103-1及び103-2（これらをまとめて上部クラッド層103と呼ぶことがある）と、コア領域104-1及び104-2（これらをまとめてコア領域104と呼ぶことがある）と、光学樹脂層105-1及び105-2（これらをまとめて光学樹脂層1

05と呼ぶことがある)とを備えており、下部クラッド層102-1、上部クラッド層103-1、コア領域104-1及び光学樹脂層105-1からなる部分と、下部クラッド層102-2、上部クラッド層103-2、コア領域104-2及び光学樹脂層105-2からなる部分とは、溝13によって分断されている。

【0040】

溝13は、基板11の上面より、下方に掘り込まれており、これにより、光アイソレータ素子30の差込を十分に確保でき、また、コア領域104、上部クラッド層103及び下部クラッド層102の断面全体をフィルタで覆うことができる。

【0041】

下部クラッド層102-1及び上部クラッド層103-1は、埋め込み型光導波路21を構成する「第1のクラッド」としての役割を果たすとともに「第2のコア」としての役割を果たし、同様に、下部クラッド層102-2及び上部クラッド層103-2は、埋め込み型光導波路22を構成する「第1のクラッド」としての役割を果たすとともに「第2のコア」としての役割を果たす。下部クラッド層102-1、102-2及び上部クラッド層103-1、103-2の材料としては、基板11及びコア領域104と異なる屈折率を有している限り特に限定されないが、いずれも石英系ガラスやポリマーを用いることが好ましい。

【0042】

コア領域104-1は、埋め込み型光導波路21を構成する「第1のコア」としての役割を果たし、下部クラッド層102-1上の一部に設けられるとともに、上部クラッド層103-1によってその表面が覆われている。同様に、コア領域104-2は、埋め込み型光導波路22を構成する「第1のコア」としての役割を果たし、下部クラッド層102-2上の一部に設けられるとともに、上部クラッド層103-2によってその表面が覆われている。コア領域104の材料としては、下部クラッド層102及び上部クラッド層103と異なる屈折率を有している限り特に限定されないが、石英系ガラスやポリマーを用いることが好ましい。

【0043】

光学樹脂層105-1は、埋め込み型光導波路21を構成する「第2のクラッド」としての役割を果たし、光学樹脂層105-2は、埋め込み型光導波路22を構成する「第2のクラッド」としての役割を果たす。光学樹脂層105の材料としては、下部クラッド層102及び上部クラッド層103と異なる屈折率を有している限り特に限定されないが、紫外線硬化型樹脂を用いることが好ましい。

【0044】

図5は図3に示すA-A線に沿った断面図、図6は図3に示すB-B線に沿った断面図である。図5及び図6に示すように、コア領域104-1、104-2は、端面から一定の距離においてその幅(図5における上下方向の長さ)が実質的に一定に設定され、その後、溝13に向かうにつれて先端部分が徐々に細くなるテーパ形状を有している。このため、溝13の近傍部分においては下部クラッド層102-1、102-2と上部クラッド層103-1、103-2との間にはコア領域104-1、104-2は存在せず、両者は直接積層された状態となっている。

【0045】

本明細書においては、埋め込み型光導波路21、22のうち、コア領域104-1、104-2の幅が実質的に一定に設定されている区間を「第1の光導波路部分」、コア領域104-1、104-2が設けられていない区間を「第2の光導波路部分」、溝13に向かうにつれてコア領域104-1、104-2の幅が徐々に細くなる区間を「遷移導波路部分」と呼ぶ。また、本明細書においては、第1の光導波路部分、遷移導波路部分及び第2の光導波路部分を合わせて「スポットサイズ変換素子」と呼ぶ。したがって、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10においては、溝13を介して向かい合う一対のスポットサイズ変換素子が複数対設けられた構造を有しており、いずれのスポットサイズ変換素子とも、第2の光導波路部分が溝13側に位置し、第1の光導波路部分が溝13とは

反対側（導波路埋め込み型光回路 10 の端面側）に位置している。

【0046】

第1の光導波路部分は第1のコア及び第1のクラッドによって構成されるチャネル型の光導波路であり、第2の光導波路部分は第2のコア及び第2のクラッドによって構成されるチャネル型の光導波路である。上述のとおり、第1のクラッド及び第2のコアは、いずれも下部クラッド層 102-1 及び上部クラッド層 103-1 からなる積層体又は下部クラッド層 102-2 及び上部クラッド層 103-2 からなる積層体によって構成される。また、遷移導波路部分は、コアとなる部分が第1のコアから第2のコアへ遷移するとともに、クラッドとなる部分が第1のクラッドから第2のクラッドへ遷移する領域であり、この領域においては、伝搬する光のスポットサイズは第1の光導波路部分における相対的に小さいスポットサイズから第2の光導波路部分における相対的に大きいスポットサイズへ（或いは、第2の光導波路部分における相対的に大きいスポットサイズから第1の光導波路部分における相対的に小さいスポットサイズへ）と変化する。つまり、実際のスポットサイズ変換は、遷移導波路部分において行われることになる。

【0047】

コア領域 104-1, 104-2 のテーパ部分の先端については、より鋭利である方が原理的に過剰損失が抑制されるため好ましいが、実際の製造ばらつきを考慮すれば、図7に示すように先端部をカットした形状とすることが好ましい。この場合、先端部の幅 x_1 は製造条件によって大幅にばらつかない範囲において小さく設定することが好ましく、具体的には、 $1\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、 $0.6\mu\text{m}$ 以下とすることがより好ましい。先端部の幅 x_1 を $1\mu\text{m}$ 以下に設定すれば、多くの場合において過剰損失を約 0.8dB 以下に抑えることが可能となり、先端部の幅 x_1 を $0.6\mu\text{m}$ 以下に設定すれば、多くの場合において過剰損失を約 0.4dB 以下に抑えることが可能となる。また、テーパ形状となっている部分の長さ x_2 については、特に限定されるものではないが、コア領域 104-1, 104-2 のうちテーパ形状ではない部分（第1の光導波路部分に対応する領域）の幅 a_2 の $100\sim 200$ 倍程度に設定することが好ましい。このように設定すれば、導波路埋め込み型光回路 10 全体の大型化を抑制しつつ、遷移導波路部分において発生する過剰損失を効果的に抑制することが可能となる。

【0048】

また、図5及び図6に示すように、下部クラッド層 102-1 及び上部クラッド層 103-1 からなる積層体、すなわち、埋め込み型光導波路 21 の第1のクラッドであり且つ第2のコアである部分は、少なくとも領域 100 の端面から溝 13 までの全領域においてその幅（図5における上下方向の長さ）及び高さ（図6における上下方向の長さ）が実質的に一定に設定されている。これは、埋め込み型光導波路 22 の下部クラッド層 102-2 及び上部クラッド層 103-2 からなる積層体についても同様である。

【0049】

図8は、領域 100 の端面部分における下部クラッド 102-1, 102-2 及び上部クラッド 103-1, 103-2 とコア領域 104-1, 104-2 との位置関係を詳細に示す図である。

【0050】

図8に示すように、コア領域 104-1, 104-2 の高さを a_1 とし、下部クラッド層 102-1 及び上部クラッド層 103-1 からなる積層体並びに下部クラッド層 102-2 及び上部クラッド層 103-2 からなる積層体の高さを b_1 とした場合、コア領域 104-1, 104-2 を高さ方向に $a_1/2$ に分割する線と、上記積層体を高さ方向に $b_1/2$ に分割する線とは、ほぼ一致している。つまり、コア領域 104-1, 104-2 の高さ方向における中心線と上記積層体の高さ方向における中心線とは、ほぼ一致している。同様に、コア領域 104-1, 104-2 の幅を a_2 とし、上記積層体の幅を b_2 とした場合、コア領域 104-1, 104-2 を幅方向に $a_2/2$ に分割する線と上記積層体を幅方向に $b_2/2$ に分割する線とは、ほぼ一致している。つまり、コア領域 104-1, 104-2 の幅方向における中心線と上記積層体の幅方向における中心線とは、ほぼ

一致している。このことは、コア領域104-1, 104-2の中心点が上記積層体の中心点とほぼ一致していることを意味する。

【0051】

特に限定されるものではないが、コア領域104-1, 104-2の高さ a_1 及び幅 a_2 としては、一般的な光ファイバのコア径とほぼ同じサイズ(7 μ m程度)に設定することが好ましい。このように設定すれば、埋め込み型光導波路21, 22の第1の光導波路部分と光ファイバとをV溝等により直接接続することが可能となる。

【0052】

以上のような構成を有する領域100において、埋め込み型光導波路21の第1の光導波路部分に入射する光は、第1のコアを溝13に向かって伝搬した後、第1のコアが徐々に細くなる遷移導波路部分において第1のクラッドへ徐々にしみだす。このため、遷移導波路部分では、第1のクラッドは溝13に向かうにつれて徐々に第2のコアとしての機能へと変化し、第2の光導波路部分に至ると、ほぼ完全に第2のコアとして機能する。したがって、溝13より出射する光のビームスポットは、第1の光導波路部分に入射する光のビームスポットよりも拡大されている。また、埋め込み型光導波路22の第2の光導波路部分に入射する光は、第2のコアを溝13とは反対方向へ伝搬した後、第1のコアが現れ徐々に太くなる遷移導波路部分において第1のコアへ徐々にしみ込む。このため、遷移導波路部分では、第2のコアは溝13とは反対方向に向かうにつれて徐々に第1のクラッドとしての機能へと変化し、第1の光導波路部分に至ると、ほぼ完全に第1のクラッドとして機能する。したがって、第1の光導波路部分より出射する光のビームスポットは、溝13に入射する光のビームスポットよりも縮小されている。

【0053】

このように、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10においては、溝13により埋め込み型光導波路21と埋め込み型光導波路22とが分断されている部分は、第1の光導波路部分よりもコア径が大きい第2の光導波路部分であることから、溝13を介して伝搬する光のビームスポットは第1の光導波路部分を伝搬する光のビームスポットよりも拡大されており、これにより、溝13において生じる回折損失が大幅に削減される。したがって、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしつつ、各チャンネルにおいて発生する回折損失を低減することが可能となる。しかも、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10においては、図8を用いて説明したように、第1のコアの中心であるコア領域104-1, 104-2の中心部分と、第2のコア(第1のクラッド)の中心である積層体の中心部分とがほぼ一致していることから、遷移導波路部分においてビームスポットの中心がほとんどずれず、このため、遷移導波路部分において生じる損失も最小限に抑えられる。

【0054】

次に、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10の製造工程について図面を参照しながら説明する。以下、領域100に注目して説明を進めるが、領域100のみが単独で製造されるわけではなく、導波路埋め込み型光回路10が一体的に製造されることは言うまでもない。

【0055】

まず、所定の面積を有する基板11を用意し(図9)、その全面に下部クラッド102及びコア領域104をこの順に成膜する(図10)。下部クラッド102及びコア領域104の成膜方法としては特に限定されるものではないが、下部クラッド102及びコア領域104の構成元素を含む化学種を用いた気相成長法、例えば、CVD法、スパッタリング法、真空蒸着法、FHD(Flame Hydrosis Deposition)法や塗布法等を用いることが好ましく、下部クラッド102及びコア領域104の材料として石英系ガラスを用いる場合には、生産性・膜質の観点からCVD法又はFHD法を用いることが特に好ましく、下部クラッド102及びコア領域104の材料としてポリマーを用いる場合には、簡便性の観点から塗布法を用いることが特に好ましい。

【0056】

次に、コア領域104をパターンニングして、コア領域104-1, 104-2を形成する(図11)。コア領域104-1, 104-2の形状については上述のとおりであり、幅が一定である部分と幅が徐々に細くなるテーパ部分とを備えた形状にパターンニングされる。コア領域104のパターンニング方法としては特に限定されるものではないが、コア領域104の全面にメタルマスク層を形成し、メタルマスク層にフォトリジストを塗布し、コア領域104-1, 104-2のみが残るようにエッチングマスクを形成した後、このエッチングマスクを用いてコア領域104の不要部分を除去することが好ましい。コア領域104の不要部分の除去は、ドライエッチングにより行うことが好ましい。

【0057】

次に、上部クラッド103を全面に成膜する(図12)。上部クラッド103の成膜方法としては特に限定されるものではないが、下部クラッド102及びコア領域104と同様、上部クラッド103の構成元素を含む化学種を用いた気相成長法又は塗布法等を用いることが好ましく、上部クラッド103の材料として石英系ガラスを用いる場合には、上述のとおりCVD法又はFHD法を用いることが特に好ましく、上部クラッド103の材料としてポリマーを用いる場合には、上述のとおり塗布法を用いることが特に好ましい。

【0058】

次に、下部クラッド102及び上部クラッド103の積層体(一部にコア領域104を含む)をパターンニングすることにより棒状体を形成する(図13)。かかる棒状体は、埋め込み型光導波路21, 22の第1の光導波路部分として用いられるとともに第2の光導波路部分のコア(第2のコア)として用いられる。下部クラッド102及び上部クラッド103の積層体のパターンニング方法としては特に限定されるものではないが、コア領域104のパターンニングと同様、全面にメタルマスク層を形成し、メタルマスク層にフォトリジストを塗布し、棒状体のみが残るようにエッチングマスクを形成した後、このエッチングマスクを用いて下部クラッド102及び上部クラッド103の積層体の不要部分をドライエッチングにより除去することが好ましい。

【0059】

次に、棒状体を覆うように基板11の全表面に光学樹脂層105を形成し(図14)、これを硬化させた後、溝13を形成する(図3、図4)。溝13の形成方法としては特に限定されるものではないが、ダイシングソーを用いたダイシングにより形成することが好ましい。

【0060】

そして、図2に示す光アイソレータ素子30を別途用意し、これを溝13に挿入した後、光学接着剤14により固定することによって本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10が完成する。尚、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10の製造方法がこれに限定されるものではなく、他の方法を用いて製造しても構わない。

【0061】

以上説明したように、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10においては、埋め込み型光導波路21, 22からなるチャンネルが複数設けられ、これら埋め込み型光導波路21, 22がいずれも、第1の光導波路部分、遷移導波路部分及び第2の光導波路部分からなるスポットサイズ変換素子を含んでいることから、溝13において生じる回折損失が大幅に削減される。したがって、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしつつ、各チャンネルにおいて発生する回折損失を低減することが可能となる。しかも、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路10においては、第1のコアの中心と第2のコア(第1のクラッド)の中心とがほぼ一致していることから、遷移導波路部分においてビームスポットの中心がほとんどずれず、このため、遷移導波路部分において生じる損失を最小限に抑えることができる。

【0062】

次に、溝13の形成角度と光アイソレータ素子30の挿入角度について説明する。

【0063】

図15は、光アイソレータ素子30が挿入された溝13の状態を拡大して示す模式的な

断面図である。

【0064】

図15に示すように、溝13の形成角度（埋め込み型光導波路21を伝搬する光 η_0 の進行方向に対して垂直な面と、溝13の内壁面とがなす角度）を θ_g とし、光アイソレータ素子30の挿入角度（埋め込み型光導波路21を伝搬する入射光 η_0 の進行方向に対して垂直な面と、ファラデー回転子31の表面とがなす角度）を θ_f とした場合、 $\theta_g \neq 0^\circ$ 且つ $\theta_f \neq 0^\circ$ に設定することが好ましい。このように、溝13の形成角度 θ_g を 0° でない角度に設定すれば、光学接着剤14の表面において生じる反射光 η_g の大部分は、埋め込み型光導波路21に戻ることはなく、また、ファラデー回転子31の挿入角度 θ_f を 0° でない角度に設定すれば、ファラデー回転子31や偏光子32の表面において生じる反射光 η_f の大部分は、埋め込み型光導波路21に戻ることはなくなる。

【0065】

しかも、ファラデー回転子31の挿入角度 θ_f を溝13の形成角度 θ_g に基づいて所定の角度に設定すれば、溝13の傾きにより生じる入射光 η_0 と透過光 η_t との光軸ずれを補正することができる。

【0066】

図16は、溝13の形成角度 θ_g とファラデー回転子31の挿入角度 θ_f との好ましい関係を示すグラフである。図16においては、埋め込み型光導波路21を伝搬する入射光 η_0 の波長が $1.31\mu\text{m}$ であり、これに応じてファラデー回転子31の厚みを $250\mu\text{m}$ 、溝13の幅を $480\mu\text{m}$ に設定した場合における上記好ましい関係と、埋め込み型光導波路21を伝搬する入射光 η_0 の波長が $1.55\mu\text{m}$ であり、これに応じてファラデー回転子31の厚みを $370\mu\text{m}$ 、溝13の幅を $600\mu\text{m}$ に設定した場合における上記好ましい関係とが示されている。

【0067】

ファラデー回転子31の挿入角度 θ_f と溝13の形成角度 θ_g とを図16に示す関係に設定すれば、溝13の傾きにより生じる入射光 η_0 と透過光 η_t との光軸ずれが、ファラデー回転子31の傾きによって補正されることから、光軸ずれに起因する損失を大幅に低減することが可能となる。

【0068】

図17は、溝13に挿入可能な他の光アイソレータ素子50の構造を示す略断面図である。

【0069】

図17に示す光アイソレータ素子50は、ファラデー回転子51と、ファラデー回転子51の対向する2つの表面にそれぞれ設けられた楔形の偏光子52、53によって構成されている。このような構成を持つ光アイソレータ素子50を用いた場合においても、図18に示すように、ファラデー回転子51の挿入角度 θ_f を 0° でない角度に設定すれば、光学接着剤14や偏光子52の表面において生じる反射光 η_f の大部分は埋め込み型光導波路21に戻ることはない。また、このような構成を持つ光アイソレータ素子50を用いた場合においても、図16を用いて説明したように、ファラデー回転子51の挿入角度 θ_f を溝13の形成角度 θ_g に基づいて所定の角度に設定すれば、溝13の傾きにより生じる入射光 η_0 と透過光 η_t との光軸ずれを補正することができる。

【0070】

図19は、溝13に挿入可能なさらに他の光アイソレータ素子60の構造を示す略斜視図である。

【0071】

図19に示す光アイソレータ素子60は、偏光を 45° 回転させるファラデー回転子61と、ファラデー回転子61の一方の面に設けられた複屈折素子62、63と、ファラデー回転子61の前記一方の面に対向する他方の面に設けられた複屈折素子64、65とによって構成されている。特に限定されるものではないが、複屈折素子62～65の材料としては水晶を用いることができる。図19に示すように、複屈折素子62はファラデー回

転子 6 1 の前記一方の表面のうち片側半分 (図 1 9 においては上側半分) に設けられており、複屈折素子 6 3 はファラデー回転子 6 1 の前記一方の表面の残りの半分 (図 1 9 においては下側半分) に設けられている。また、複屈折素子 6 4 は、ファラデー回転子 6 1 の前記他方の表面のうち複屈折素子 6 2 と対向する部分に設けられており、複屈折素子 6 5 は、ファラデー回転子 6 1 の前記他方の表面のうち複屈折素子 6 3 と対向する部分に設けられている。

【0072】

複屈折素子 6 2 の光学軸と複屈折素子 6 3 の光学軸とは互いに直交しており、複屈折素子 6 4 の光学軸と複屈折素子 6 5 の光学軸とは互いに直交している。さらに、複屈折素子 6 2 の光学軸と複屈折素子 6 4 の光学軸とはほぼ 45° の角度をなしており、複屈折素子 6 3 の光学軸と複屈折素子 6 5 の光学軸とはほぼ 45° の角度をなしている。この場合、図 20 (a) に示すように、複屈折素子 6 2 と複屈折素子 6 3 との境界線 (複屈折素子 6 4 と複屈折素子 6 5 との境界線) に対し、複屈折素子 6 2, 6 3 の光学軸をそれぞれ 90° , 0° に設定し、複屈折素子 6 4, 6 5 の光学軸をそれぞれ $+45^\circ$, -45° に設定してもよいが、図 20 (b) に示すように、上記境界線に対し、複屈折素子 6 2, 6 3 の光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° に設定し、複屈折素子 6 4, 6 5 の光学軸をそれぞれ $+67.5^\circ$, -22.5° に設定することが好ましい。これによれば、複屈折素子 6 2, 6 3 からなる板状体と複屈折素子 6 4, 6 5 からなる板状体が同一構成となることから、生産性を高めることが可能となる。

【0073】

このような構成を有する光アイソレータ素子 6 0 を導波路埋め込み型光回路 1 0 の溝 1 3 に挿入し、磁界を印加すると、埋め込み型光導波路 2 1 より出射する光のビームスポット S は、図 1 9, 図 2 0 に示すように上半分が複屈折素子 6 2 を通過し、下半分が複屈折素子 6 3 を通過することになる。複屈折素子 6 2, 6 3 を通過した光は、ファラデー回転子 6 1 を通過することによって 45° 回転し、それぞれ複屈折素子 6 4, 6 5 を通過する。この場合、複屈折素子 6 2, 6 4 を通過する光の光路長と、複屈折素子 6 3, 6 5 を通過する光の光路長とは等しいことから、光アイソレータ素子 6 0 を通過した光のビーム形状は、埋め込み型光導波路 2 1 より出射する光のビーム形状と等しくなり、このため埋め込み型光導波路 2 2 に結合する。一方、埋め込み型光導波路 2 2 側から出射する光については、複屈折素子 6 2, 6 4 を通過する光の光路長と、複屈折素子 6 3, 6 5 を通過する光の光路長とが異なることから、埋め込み型光導波路 2 1 には結合しない。

【0074】

したがって、光アイソレータ素子 3 0 の代わりに上記光アイソレータ素子 6 0 を溝 1 3 に挿入した場合においても、導波路埋め込み型光回路 1 0 を光アイソレータアレイとして利用することが可能となる。

【0075】

図 2 1 は、溝 1 3 に挿入可能なさらに他の光アイソレータ素子 7 0 の構造を示す略斜視図である。

【0076】

図 2 1 に示す光アイソレータ素子 7 0 は、偏光を 45° 回転させるファラデー回転子 7 1 と、ファラデー回転子 7 1 の一方の面に設けられた複屈折素子 7 2, 7 3 と、ファラデー回転子 7 1 の前記一方の面に対向する他方の面に設けられた複屈折素子 7 4, 7 5 とによって構成されている。図 2 1 に示すように、複屈折素子 7 2 と複屈折素子 7 3 は、ファラデー回転子 7 1 の前記一方の表面において交互に設けられ、複屈折素子 7 4 と複屈折素子 7 5 は、ファラデー回転子 7 1 の前記他方の表面において交互に設けられており、複屈折素子 7 2 と複屈折素子 7 4 とが互いに対向し、複屈折素子 7 3 と複屈折素子 7 5 とが互いに対向するように配置されている。

【0077】

複屈折素子 7 2 の光学軸と複屈折素子 7 3 の光学軸とは互いに直交しており、複屈折素子 7 4 の光学軸と複屈折素子 7 5 の光学軸とは互いに直交している。さらに、複屈折素子

72の光学軸と複屈折素子74の光学軸とはほぼ 45° の角度をなしており、複屈折素子73の光学軸と複屈折素子75の光学軸とはほぼ 45° の角度をなしている。この場合も、図22(a)に示すように、複屈折素子72と複屈折素子73との境界線(複屈折素子74と複屈折素子75との境界線)に対し、複屈折素子72, 73の光学軸をそれぞれ 90° , 0° に設定し、複屈折素子74, 75の光学軸をそれぞれ $+45^\circ$, -45° に設定してもよいが、図22(b)に示すように、上記境界線に対し、複屈折素子72, 73の光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° に設定し、複屈折素子74, 75の光学軸をそれぞれ $+67.5^\circ$, -22.5° に設定することが好ましい。これによれば、複屈折素子72, 73からなる板状体と複屈折素子74, 75からなる板状体が同一構成となることから、生産性を高めることが可能となる。

【0078】

このような構成を有する光アイソレータ素子70を導波路埋め込み型光回路10の溝13に挿入し、磁界を印加すると、埋め込み型光導波路21より出射する光のビームスポットSは、図21, 図22に示すように右半分及び左半分の一方が複屈折素子72を通過し、他方が複屈折素子73を通過することになる。複屈折素子72, 73を通過した光は、ファラデー回転子71を通過することによって 45° 回転し、それぞれ複屈折素子74, 75を通過する。この場合、複屈折素子72, 74を通過する光の光路長と、複屈折素子73, 75を通過する光の光路長とは等しいことから、光アイソレータ素子70を通過した光のビーム形状は、埋め込み型光導波路21より出射する光のビーム形状と等しくなり、このため埋め込み型光導波路22に結合する。一方、埋め込み型光導波路22側から出射する光については、複屈折素子72, 74を通過する光の光路長と、複屈折素子73, 75を通過する光の光路長とが異なることから、埋め込み型光導波路21には結合しない。

【0079】

したがって、光アイソレータ素子30の代わりに上記光アイソレータ素子70を溝13に挿入した場合においても、導波路埋め込み型光回路10を光アイソレータアレイとして利用することが可能となる。

【0080】

上述した光アイソレータ素子60や光アイソレータ素子70は、以下に説明する方法によって作製することが可能である。

【0081】

図23は、図19及び図20(a)に示す光アイソレータ素子60を製造する方法の一例を示す工程図である。まず、工程(a)で複屈折材料ウエーハ69を光学軸に対し切断方向が 0° , $+45^\circ$, -45° , 90° のいずれかの方位となるようにダイサー等で一定間隔に裁断したものをそれぞれ用意し、工程(b)でこれらのうち $+45^\circ$ 及び -45° のもの(複屈折素子64と複屈折素子65)を光学接着剤で交互に接着し、 0° 及び 90° のもの(複屈折素子62と複屈折素子63)を光学接着剤で交互に接着する。この場合、光学軸が $+45^\circ$ である複屈折素子(複屈折素子64)と光学軸が -45° である複屈折素子(複屈折素子65)は、同じ種類のものを用いることができる。次いで、工程(c)でファラデー回転子ウエーハ61'の一方の面に複屈折素子62と複屈折素子63からなる複屈折板を貼り合わせ、他方の面に複屈折素子64と複屈折素子65からなる複屈折板を貼り合わせる。この場合、複屈折素子62と複屈折素子63の接着面が複屈折素子64と複屈折素子65の接着面と一致するように貼り合わせる必要がある。そして、工程(d)で、元の裁断方向に平行な方向に裁断し、これにより、(e)に示される光アイソレータ素子60が複数個得られる。

【0082】

また、図19及び図20(b)に示す光アイソレータ素子60を製造する場合には、上記工程(a)で複屈折材料ウエーハ69を光学軸に対し切断方向が $+22.5^\circ$, $+67.5^\circ$, -67.5° , -22.5° のいずれかの方位となるようにダイサー等で一定間隔に裁断したものをそれぞれ用意し、工程(b)でこれらのうち $+22.5^\circ$ 及び -67

・ 5° のもの（複屈折素子 62 と複屈折素子 63）を光学接着剤で交互に接着し、 $+67.5^\circ$ 及び -22.5° のもの（複屈折素子 64 と複屈折素子 65）を光学接着剤で交互に接着すればよい。この場合、光学軸が $+22.5^\circ$ である複屈折素子（複屈折素子 62）と光学軸が -22.5° である複屈折素子（複屈折素子 65）は、同じ種類のものを用いることができ、光学軸が $+67.5^\circ$ である複屈折素子（複屈折素子 64）と光学軸が -67.5° である複屈折素子（複屈折素子 63）は、同じ種類のものを用いることができる。

【0083】

図 24 は、図 21 及び図 22 (a) に示す光アイソレータ素子 70 を製造する方法の一例を示す工程図である。工程 (a) ~ (c) については、上記光アイソレータ素子 70 の製造工程と同様であり、まず、複屈折材料ウエーハ 79 を光学軸に対し切断方向が 0° 、 $+45^\circ$ 、 -45° 、 90° のいずれかの方位となるようにダイソー等で一定間隔に裁断したものをそれぞれ用意し、その後、これらのうち $+45^\circ$ 及び -45° のもの（複屈折素子 74 と複屈折素子 75）を光学接着剤で交互に接着し、 0° 及び 90° のもの（複屈折素子 72 と複屈折素子 73）を光学接着剤で交互に接着する。この場合、光学軸が $+45^\circ$ である複屈折素子（複屈折素子 74）と光学軸が -45° である複屈折素子（複屈折素子 75）は、同じ種類のものを用いることができる。次いで、ファラデー回転子ウエーハ 71' の一方の面に複屈折素子 72 と複屈折素子 73 からなる複屈折板を貼り合わせ、他方の面に複屈折素子 74 と複屈折素子 75 からなる複屈折板を貼り合わせる。この場合も、複屈折素子 72 と複屈折素子 73 の接着面が複屈折素子 74 と複屈折素子 75 の接着面と一致するように貼り合わせる必要がある。そして、工程 (d) で、元の裁断方向とは直交する方向に裁断し、これにより、(e) に示される光アイソレータ素子 70 が複数個得られる。

【0084】

また、図 21 及び図 22 (b) に示す光アイソレータ素子 70 を製造する場合には、上記工程 (a) で複屈折材料ウエーハ 79 を光学軸に対し切断方向が $+22.5^\circ$ 、 $+67.5^\circ$ 、 -67.5° 、 -22.5° のいずれかの方位となるようにダイソー等で一定間隔に裁断したものをそれぞれ用意し、工程 (b) でこれらのうち $+22.5^\circ$ 及び -67.5° のもの（複屈折素子 72 と複屈折素子 73）を光学接着剤で交互に接着し、 $+67.5^\circ$ 及び -22.5° のもの（複屈折素子 74 と複屈折素子 75）を光学接着剤で交互に接着すればよい。この場合、光学軸が $+22.5^\circ$ である複屈折素子（複屈折素子 72）と光学軸が -22.5° である複屈折素子（複屈折素子 75）は、同じ種類のものを用いることができ、光学軸が $+67.5^\circ$ である複屈折素子（複屈折素子 74）と光学軸が -67.5° である複屈折素子（複屈折素子 73）は、同じ種類のものを用いることができる。

【0085】

また、溝 13 に挿入可能な光アイソレータ素子としては、上述した各光アイソレータ素子 30, 50, 60, 70 の他、図 25 に示すような光アイソレータ素子 80 を用いることも可能である。図 25 に示す光アイソレータ素子 80 は、偏光を 45° 回転させるファラデー回転子 81 と、ファラデー回転子 81 の一方の面に格子状に設けられた複屈折素子 82, 83 と、ファラデー回転子 81 の前記一方の面に対向する他方の面に格子状に設けられた複屈折素子 84, 85 とによって構成され、埋め込み型光導波路 21 より出射する光のビームスポット S の中心が複屈折素子 82, 83 からなる格子及び複屈折素子 84, 85 からなる格子の中心に位置するよう、溝 13 に挿入することによって、光アイソレータレイとして利用することが可能となる。

【0086】

図示しないが、この場合も複屈折素子 82 と複屈折素子 83 との縦方向の境界線（複屈折素子 84 と複屈折素子 85 との縦方向の境界線）に対し、複屈折素子 82, 83 の光学軸をそれぞれ 90° , 0° に設定し、複屈折素子 84, 85 の光学軸をそれぞれ $+45^\circ$, -45° に設定してもよいが、上記境界線に対し、複屈折素子 82, 83 の光学軸をそ

れぞれ $+22.5^\circ$ 、 -67.5° に設定し、複屈折素子84、85の光学軸をそれぞれ $+67.5^\circ$ 、 -22.5° に設定することが好ましい。これによれば、複屈折素子82、83からなる板状体と複屈折素子84、85からなる板状体が同一構成となることから、生産性を高めることが可能となる。

【0087】

以上、溝13に光アイソレータ素子(30, 50, 60, 70又は80)を挿入することによって光アイソレータアレイを構成した例について説明したが、溝13に光アイソレータ素子ではなく光フィルタを挿入することによって、光フィルタアレイを構成することも可能である。この場合、溝13に一枚の大きなフィルタを挿入することにより、各チャンネルに対して同一のフィルタリング特性を与えてもよいし、1又は2以上のチャンネルに対応する複数のフィルタを挿入することにより、各チャンネルごとに所望のフィルタリング特性を与えても構わない。さらに、溝13の所定の部分には光アイソレータ素子を挿入し、溝13の別の部分には光フィルタを挿入することにより、あるチャンネルについては光アイソレータアレイとして機能し、別のチャンネルについては光フィルタアレイとして機能するよう構成しても構わない。

【0088】

次に、本発明の好ましい他の実施態様について説明する。

【0089】

図26は、本発明の好ましい他の実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路(光サーキュレータアレイ)90を示す略上面図である。

【0090】

図26に示すように、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路90は、基板(図示せず)上に設けられた導波路層92を備え、導波路層92に設けられた溝93には光アイソレータ素子110が挿入されている。導波路層92内には、埋め込み型光導波路201~208を含むサーキュレータ120が複数個(図26に示す例では4個)設けられており、溝93は、埋め込み型光導波路203と207を分断し、埋め込み型光導波路204と208を分断するように斜めに設けられている。溝93の幅は、光アイソレータ素子110が挿入可能な限度においてできる限り狭く設定することが好ましい。また、光アイソレータ素子110が挿入された溝93内は光学接着剤(図示せず)によって充填されており、これによって光アイソレータ素子110が溝93内に固定されている。

【0091】

各サーキュレータ120には、光分離結合部211、212が備えられており、光分離結合部211の一方の側には埋め込み型光導波路201、202が配置され、他方の側には埋め込み型光導波路203、204が配置されており、光分離結合部212の一方の側には埋め込み型光導波路205、206が配置され、他方の側には埋め込み型光導波路207、208が配置されている。また、図26に示すように、埋め込み型光導波路203と埋め込み型光導波路207とは溝93を介して対向しており、埋め込み型光導波路204と埋め込み型光導波路208も溝93を介して対向している。

【0092】

埋め込み型光導波路205から順方向入射(図26においては右方向)された光が埋め込み型光導波路202から出射する場合、埋め込み型光導波路202からの逆方向(図26においては左方向)入射では、埋め込み型光導波路206から出射する。また、埋め込み型光導波路205から順方向入射(図26においては右方向)された光が、埋め込み型光導波路201から出射する場合、埋め込み型光導波路201からの逆方向(図26においては左方向)入射では、埋め込み型光導波路206から出射する。

【0093】

本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路90は、このような構成を有するサーキュレータ120が複数個アレイ状に配置されてなり、溝93に光アイソレータ素子110が挿入されることによって光サーキュレータアレイとして機能する。

【0094】

埋め込み型光導波路 204 (203) と埋め込み型光導波路 208 (207) が、溝 93 を介して対向している領域 100 の構造は、図 3 乃至図 8 を用いて説明した通りであり、一対のスポットサイズ変換素子を構成している。これにより、上記実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路 10 (光アイソレータアレイ) と同様、溝 93 において生じる回折損失が大幅に低減されている。

【0095】

図 27 は、光アイソレータ素子 110 の構造を示す略斜視図である。

【0096】

図 27 に示すように、光アイソレータ素子 110 は、偏光を 45° 回転させるファラデー回転子 111 と、ファラデー回転子 111 の一方の面において所定の間隔ごとに設けられた複数の複屈折素子 112 と、ファラデー回転子 111 の前記一方の面に対向する他方の面において所定の間隔ごとに設けられた複数の複屈折素子 113 とによって構成されている。図 27 に示すように、複屈折素子 112 と複屈折素子 113 とは、互いに対向しないように交互に配置されている。複屈折素子 112 の光学軸と複屈折素子 113 の光学軸とは互いに 45° の角度をなしている。

【0097】

この場合、複屈折素子 112 が設けられている領域と複屈折素子 113 が設けられている領域の境界線に対し、複屈折素子 112, 113 の光学軸をそれぞれ $+45^\circ$, 0° に設定してもよいが、上記境界線に対し、複屈折素子 112, 113 の光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° に設定することが好ましい。これによれば、複屈折素子 112 と複屈折素子 113 が同一構成となることから、生産性を高めることが可能となる。

【0098】

このような構成を有する光アイソレータ素子 110 は、埋め込み型光導波路 204 (208) より出射する光のビームスポット S1 が複屈折素子 112 の設けられている部分に位置するとともに、埋め込み型光導波路 203 (207) より出射する光のビームスポット S2 が複屈折素子 113 の設けられている部分に位置するように溝 93 に挿入される。

【0099】

図 28 は、溝 93 に光アイソレータ素子 110 を挿入した状態における各サーキュレータ 120 内の光路を説明するための模式図である。図 28 においては、複屈折素子 112, 113 の光学軸がそれぞれ $+45^\circ$, 0° に設定されているが、上述の通り、これらの光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° に設定すれば、同じ種類の複屈折素子によって光アイソレータ素子 110 を構成することが可能となる。

【0100】

図 28 に示すように、溝 93 に光アイソレータ素子 110 が挿入されると、埋め込み型光導波路 204, 208 間の光路にはファラデー回転子 111 と複屈折素子 112 が介在し、埋め込み型光導波路 203, 207 間の光路にはファラデー回転子 111 と複屈折素子 113 が介在することになる。

【0101】

このため、埋め込み型光導波路 202 へ入力される光 (逆方向の光) については、光分離結合部 211 において分離し埋め込み型光導波路 203, 204 を伝搬した後、光アイソレータ素子 110 を通過し、光分離結合部 212 において同位相で干渉して合成される。一方、埋め込み型光導波路 205 へ入力される光 (順方向の光) については、光分離結合部 212 において分離し埋め込み型光導波路 207, 208 を伝搬した後、光アイソレータ素子 110 を通過し、光分離結合部 211 において逆位相で干渉して合成される。これにより、埋め込み型光導波路 205 へ入力される順方向の光は埋め込み型光導波路 202 へ出力し、埋め込み型光導波路 202 へ入力される逆方向の光は埋め込み型光導波路 206 へ出力する。つまり、サーキュレータとして機能する。したがって、溝 93 に光アイソレータ素子 110 を挿入すれば、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路 90 を光サーキュレータアレイとして利用することが可能となる。

【0102】

尚、光アイソレータ素子 110 の構造としては図 27 に示す構造のみならず、図 29 (a), (b) に示すように、複屈折素子 112, 113 を櫛形状に加工し、これらをファラデー回転子 111 の対向する面にそれぞれ貼り合わせた構造としても構わない。この場合、櫛形加工された複屈折素子 112 の櫛歯部分 112a が複屈折素子 113 の切り欠き部分 113b に対向し、複屈折素子 113 の櫛歯部分 113a が複屈折素子 112 の切り欠き部分 112b に対向するように貼り合わせ、ビームスポット S1 が複屈折素子 112 の櫛歯部分 112a に位置し、ビームスポット S2 が複屈折素子 113 の櫛歯部分 113a に位置するように溝 93 に挿入すれば、図 27 に示す光アイソレータ素子 110 と同じ機能を実現することができる。光アイソレータ素子 110 を図 29 に示す構造とすれば、複屈折素子 112, 113 がそれぞれ 1 つの部品となることから、ファラデー回転子 111 への貼り合わせ工程を容易に行うことが可能となる。

【0103】

図 30 は、溝 93 に挿入可能な他の光アイソレータ素子 130 の構造を示す略斜視図である。

【0104】

図 30 に示す光アイソレータ素子 130 は、偏光を 45° 回転させるファラデー回転子 131 と、ファラデー回転子 131 の一方の面に設けられた複屈折素子 132, 133 と、ファラデー回転子 131 の前記一方の面に対向する他方の面に設けられた複屈折素子 134, 135 とによって構成されている。図 30 に示すように、複屈折素子 132 と複屈折素子 133 は、ファラデー回転子 131 の前記一方の表面において交互に設けられ、複屈折素子 134 と複屈折素子 135 は、ファラデー回転子 131 の前記他方の表面において交互に設けられており、複屈折素子 132 と複屈折素子 134 とが互いに対向し、複屈折素子 133 と複屈折素子 135 とが互いに対向するように配置されている。

【0105】

複屈折素子 132 の光学軸と複屈折素子 133 の光学軸とは互いに直交しており、複屈折素子 134 の光学軸と複屈折素子 135 の光学軸とは互いに直交している。さらに、複屈折素子 132 の光学軸と複屈折素子 134 の光学軸とはほぼ 45° の角度をなしており、複屈折素子 133 の光学軸と複屈折素子 135 の光学軸とはほぼ 45° の角度をなしている。

【0106】

この場合も、複屈折素子 132 と複屈折素子 133 との境界線（複屈折素子 134 と複屈折素子 135 との境界線）に対し、複屈折素子 132, 133 の光学軸をそれぞれ 90° , 0° に設定し、複屈折素子 134, 135 の光学軸をそれぞれ $+45^\circ$, -45° に設定してもよいが、上記境界線に対し、複屈折素子 132, 133 の光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° に設定し、複屈折素子 134, 135 の光学軸をそれぞれ $+67.5^\circ$, -22.5° に設定することが好ましい。これによれば、複屈折素子 132, 133 からなる板状体と複屈折素子 134, 135 からなる板状体が同一構成となることから、生産性を高めることが可能となる。

【0107】

このような構成を有する光アイソレータ素子 130 は、埋め込み型光導波路 204 (208) より出射する光のビームスポット S1 が複屈折素子 132, 134 の設けられている部分に位置するとともに、埋め込み型光導波路 203 (207) より出射する光のビームスポット S2 が複屈折素子 133, 135 の設けられている部分に位置するように溝 93 に挿入される。

【0108】

図 31 は、溝 93 に光アイソレータ素子 130 を挿入した状態における各サーキュレータ 120 内の光路を説明するための模式図である。図 31 においては、複屈折素子 132, 133 の光学軸がそれぞれ 90° , 0° に設定され、複屈折素子 134, 135 の光学軸がそれぞれ $+45^\circ$, -45° に設定されているが、上述の通り、これらの光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° , -22.5° , $+67.5^\circ$ に設定すれば、生産性

を高めることが可能となる。

【0109】

図31に示すように、溝93に光アイソレータ素子130が挿入されると、埋め込み型光導波路204、208間の光路にはファラデー回転子131と複屈折素子132、134が介在し、埋め込み型光導波路203、207間の光路にはファラデー回転子131と複屈折素子133、135が介在することになる。

【0110】

このため、埋め込み型光導波路202へ入力される光（逆方向の光）については、光分離結合部211において分離し埋め込み型光導波路203、204を伝搬した後、光アイソレータ素子130を通過し、光分離結合部212において同位相で干渉して合成される。一方、埋め込み型光導波路205へ入力される光（順方向の光）については、光分離結合部212において分離し埋め込み型光導波路207、208を伝搬した後、光アイソレータ素子130を通過し、光分離結合部211において逆位相で干渉して合成される。これにより、埋め込み型光導波路205へ入力される順方向の光は埋め込み型光導波路202へ出力し、埋め込み型光導波路202へ入力される逆方向の光は埋め込み型光導波路206へ出力する。つまり、サーキュレータとして機能する。したがって、溝93に光アイソレータ素子130を挿入した場合においても、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路90を光サーキュレータアレイとして利用することが可能となる。

【0111】

尚、光アイソレータ素子130の構造としては図30に示す構造のみならず、図32(a)、(b)に示すように、複屈折素子132～135を櫛形状に加工し、複屈折素子132、133の櫛歯部分132a、133aが複屈折素子132、133の切り欠き部分132b、133bにそれぞれ嵌合するように一体化し、複屈折素子134、135の櫛歯部分134a、135aが複屈折素子134、135の切り欠き部分134b、135bにそれぞれ嵌合するように一体化して、これらをファラデー回転子131の対向する面にそれぞれ貼り合わせた構造としても構わない。この場合、複屈折素子132の櫛歯部分132aが複屈折素子134の櫛歯部分134aに対向し、複屈折素子133の櫛歯部分133aが複屈折素子135の櫛歯部分135aに対向するように貼り合わせ、ビームスポットS1が複屈折素子132、134の櫛歯部分132a、134aに位置し、ビームスポットS2が複屈折素子133、135の櫛歯部分133a、135aに位置するように溝93に挿入すれば、図30に示す光アイソレータ素子130と同じ機能を実現することができる。光アイソレータ素子130を図32に示す構造とすれば、複屈折素子132、133が1つの部品となり、複屈折素子134、135が1つの部品となることから、ファラデー回転子131への貼り合わせ工程を容易に行うことが可能となる。

【0112】

このように、本実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路90においては、光サーキュレータ120が複数設けられ、各光サーキュレータ120に含まれる埋め込み型光導波路205～208がスポットサイズ変換素子を含んでいることから、溝93において生じる回折損失が大幅に削減される。したがって、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしつつ、各光サーキュレータ120において発生する回折損失を低減することが可能となる。

【0113】

本発明は、以上の実施態様に限定されることなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

【0114】

例えば、上記各実施態様においては、埋め込み型光導波路の第1の光導波路部分に対応する領域にも光学樹脂層105が設けられているが、光学樹脂層105は第2の光導波路部分のクラッド（第2のクラッド）として機能することから、第1の光導波路部分に対応する部分においては光学樹脂層105を省略しても構わない。また、第2のクラッドとし

ても光学樹脂層 105 を用いる必要はなく、下部クラッド 102 及び上部クラッド 103 と屈折率が異なっている限り、他の材料を用いても構わない。

【0115】

また、上記実施態様においては、基板 11 として石英系ガラスを用いたが、下部クラッド 102 に有効に光を閉じこめることができれば、基板 11 としてはこれに限定されず、シリコン基板上に石英系ガラスの層を形成したものであってもかまわない。

【実施例 1】

【0116】

上記埋め込み型光導波路 21 に含まれるスポットサイズ変換素子、すなわち、基板 11、下部クラッド 102-1、上部クラッド 103-1、コア領域 104-1 及び光学樹脂層 105-1 のみからなるスポットサイズ変換素子を作製した。

【0117】

コア領域 104-1 (第 1 のコア) の材料としてはゲルマニウムを添加したシリカガラス (屈折率: $n_{ic} = 1.4558$) を用い、下部クラッド 102-1 及び上部クラッド 103-1 (第 1 のクラッド=第 2 のコア) の材料としては BPSG (ボロンとリンを添加したシリカガラス、屈折率: $n_{ic} = 1.4501$) を用い、光学樹脂層 105-1 (第 2 のクラッド) の材料としては光学接着剤 (屈折率: $n_{ic} = 1.4473$) を用いた。

【0118】

また、コア領域 104-1 (第 1 のコア) のサイズとしては、埋め込み型光導波路 21 の第 1 の光導波路部分に対応する部分の長さを $200\ \mu\text{m}$ 、第 1 の光導波路部分に対応する部分における高さ及び幅をいずれも $7\ \mu\text{m}$ に設定し、遷移導波路部分に対応するテーパ部分の長さ x_2 を $1000\ \mu\text{m}$ に設定し、テーパ部分の先端の幅 x_1 を $0.4\ \mu\text{m}$ に設定した。

【0119】

また、下部クラッド 102-1 及び上部クラッド 103-1 からなる積層体 (第 1 のクラッド=第 2 のコア) については、長さを $2400\ \mu\text{m}$ 、高さを $35\ \mu\text{m}$ 、幅を $34\ \mu\text{m}$ に設定した。このうち、第 1 のコアであるコア領域 104-1 の高さ及び幅が一定に設定されている $200\ \mu\text{m}$ の区間 (第 1 の光導波路部分に対応する領域) については第 1 のクラッドとして機能し、コア領域 104-1 が存在しない $1200\ \mu\text{m}$ の区間 (第 2 の光導波路部分に対応する領域) については第 2 のコアとして機能する。また、コア領域 104-1 がテーパ形状となっている $1000\ \mu\text{m}$ の区間 (遷移導波路部分に対応する領域) については、第 1 のクラッドとしての機能から第 2 のコアとしての機能へと徐々に変化する。

【0120】

このような構造を有するスポットサイズ変換素子に対し、埋め込み型光導波路 21 の第 1 の光導波路部分からスポットサイズが約 $10\ \mu\text{m}$ である光を入射し、第 2 の光導波路部分から出射する光の光電界モード分布を測定した。その結果、第 2 の光導波路部分から出射する光のスポットサイズは約 $28\ \mu\text{m}$ であり、2.8 倍に拡大されていることが確認された。

【実施例 2】

【0121】

図 1 に示す導波路埋め込み型光回路 10 と同じ構造を有する実施例 2 の光アイソレータアレイを作製した。

【0122】

実施例 2 の光アイソレータアレイに含まれる各スポットサイズ変換素子は、実施例 1 のそれと全く同じ材料・サイズからなる。スポットサイズ変換素子を分断する溝については、幅を $600\ \mu\text{m}$ に設定し、形成角度 θ_g を 5° に設定した。また、溝に挿入した光アイソレータ素子としては、厚さ $370\ \mu\text{m}$ のビスマス置換希土類鉄ガーネットからなり波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における回転角が 45° であるファラデー回転子の両面に、楔形の偏光ガラ

スからなる2つの偏光子が図17に示すように貼り付けられた構成を有するものを用い、挿入角度 θ_f が 0.6° となるように溝に挿入し、磁界を印加した。

【0123】

そして、一方の埋め込み型光導波路に波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を伝搬させ、他方の埋め込み型光導波路に現れる光の強度を測定することにより、消光比及び挿入損失を算出した。その結果、消光比は 29 dB 、挿入損失は 1.0 dB であり、非常に良好な特性が得られた。

【実施例3】

【0124】

実施例2の光アイソレータアレイに設けられた溝の幅を $500\mu\text{m}$ （形成角度 $\theta_g = 5^\circ$ ）に設定した、実施例3の光アイソレータアレイを作製した。また、溝に挿入した光アイソレータ素子としては、厚さ $370\mu\text{m}$ のビスマス置換希土類鉄ガーネットからなり波長 $1.55\mu\text{m}$ における回転角が 45° であるファラデー回転子の両面に、xカット水晶板からなる厚さ $46\mu\text{m}$ の複屈折素子が図19に示すように貼り付けられた構成を有するものを用い、挿入角度 θ_f が 0.6° となるように溝に挿入し、磁界を印加した。

【0125】

そして、一方の埋め込み型光導波路に波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を伝搬させ、他方の埋め込み型光導波路に現れる光の強度を測定することにより、消光比及び挿入損失を算出した。その結果、消光比は 26 dB 、挿入損失は 1.3 dB であり、消光比の偏波依存性は 0.4 dB と非常に良好な特性が得られた。

【実施例4】

【0126】

上記導波路埋め込み型光回路90と同じ構造を有する、実施例4の光サーキュレータアレイを作製した。

【0127】

実施例4の光アイソレータアレイに含まれる各スポットサイズ変換素子は、実施例1のそれと全く同じ材料・サイズからなる。スポットサイズ変換素子を分断する溝については、幅を $500\mu\text{m}$ に設定し、形成角度 θ_g を 5° に設定した。また、溝に挿入した光アイソレータ素子としては、厚さ $370\mu\text{m}$ のビスマス置換希土類鉄ガーネットからなり波長 $1.55\mu\text{m}$ における回転角が 45° であるファラデー回転子の両面に、xカット水晶板からなる厚さ $46\mu\text{m}$ の複屈折素子が図30に示すように貼り付けられた構成を有するものを用い、挿入角度 θ_f が 0.6° となるように溝に挿入し、磁界を印加した。

【0128】

そして、図26に示す埋め込み型光導波路205, 206, 201, 202をそれぞれポートA, B, C, Dとした場合、入力ポートをAとし出力ポートをCとした場合の損失は 22.3 dB 、入力ポートをAとし出力ポートをDとした場合の損失は 1.6 dB 、入力ポートをDとし出力ポートをAとした場合の損失は 20.4 dB 、入力ポートをDとし出力ポートをBとした場合の損失は 1.8 dB であり、非常に良好な特性が得られた。

【0129】

また、比較のため、図26に示す領域100にスポットサイズ変換素子を用いることなく、埋め込み型光導波路203, 204, 207, 208の全区間において、コア領域の高さ及び幅をいずれも $7\mu\text{m}$ に固定した比較例による光サーキュレータアレイを作製し、実施例4と同様の測定を行った。その結果、入力ポートをAとし出力ポートをDとした場合の損失が 8.9 dB であり、実施例4の光サーキュレータアレイに比べて挿入損失が大きかった。これにより、スポットサイズ変換により回折損失が大幅に低減されていることが確認された。

【図面の簡単な説明】

【0130】

【図1】本発明の好ましい実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路（光アイソレータアレイ）10を示す図であり、（a）は略上面図、（b）は略側面図である。

- 【図 2】 光アイソレータ素子 30 の構造を示す略斜視図である。
- 【図 3】 図 1 に示す領域 100 を抜き出して示す略斜視図である。
- 【図 4】 図 1 に示す領域 100 を図 3 とは逆方向から見た略斜視図である。
- 【図 5】 図 3 に示す A-A 線に沿った断面図である。
- 【図 6】 図 3 に示す B-B 線に沿った断面図である。
- 【図 7】 コア領域 104-1, 104-2 の先端部を拡大して示す略平面図である。
- 【図 8】 領域 100 の端面部分における下部クラッド 102-1, 102-2 及び上部クラッド 103-1, 103-2 とコア領域 104-1, 104-2 との位置関係を詳細に示す図である。
- 【図 9】 導波路埋め込み型光回路 10 の製造過程における、領域 100 の一状態を示す斜視図である。
- 【図 10】 導波路埋め込み型光回路 10 の製造過程における、領域 100 の一状態を示す斜視図である。
- 【図 11】 導波路埋め込み型光回路 10 の製造過程における、領域 100 の一状態を示す斜視図である。
- 【図 12】 導波路埋め込み型光回路 10 の製造過程における、領域 100 の一状態を示す斜視図である。
- 【図 13】 導波路埋め込み型光回路 10 の製造過程における、領域 100 の一状態を示す斜視図である。
- 【図 14】 導波路埋め込み型光回路 10 の製造過程における、領域 100 の一状態を示す斜視図である。
- 【図 15】 光アイソレータ素子 30 が挿入された溝 13 の状態を拡大して示す模式的な断面図である。
- 【図 16】 溝 13 の形成角度 θ_g と光アイソレータ素子 30 の挿入角度 θ_f との好ましい関係を示すグラフである。
- 【図 17】 溝 13 に挿入可能な他の光アイソレータ素子 50 の構造を示す略断面図である。
- 【図 18】 光アイソレータ素子 50 が挿入された溝 13 の状態を拡大して示す模式的な断面図である。
- 【図 19】 溝 13 に挿入可能なさらに他の光アイソレータ素子 60 の構造を示す略斜視図である。
- 【図 20】 (a) は複屈折素子 62~65 の光学軸をそれぞれ 90° , 0° , $+45^\circ$, -45° に設定して例を示し、(b) は複屈折素子 62~65 の光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° , $+67.5^\circ$, -22.5° に設定した例を示す図である。
- 【図 21】 溝 13 に挿入可能なさらに他の光アイソレータ素子 70 の構造を示す略斜視図である。
- 【図 22】 (a) は複屈折素子 72~75 の光学軸をそれぞれ 90° , 0° , $+45^\circ$, -45° に設定して例を示し、(b) は複屈折素子 72~75 の光学軸をそれぞれ $+22.5^\circ$, -67.5° , $+67.5^\circ$, -22.5° に設定した例を示す図である。
- 【図 23】 図 19 に示す光アイソレータ素子 60 を製造する方法の一例を示す工程図である。
- 【図 24】 図 21 に示す光アイソレータ素子 70 を製造する方法の一例を示す工程図である。
- 【図 25】 溝 13 に挿入可能なさらに他の光アイソレータ素子 80 の構造を示す略斜視図である。
- 【図 26】 本発明の好ましい他の実施態様にかかる導波路埋め込み型光回路（光サーキュレータアレイ）90 を示す略上面図である。
- 【図 27】 光アイソレータ素子 110 の構造を示す略斜視図である。

【図 28】溝 93 に光アイソレータ素子 110 を挿入した状態における各サーキュレータ 120 内の光路を説明するための模式図である。

【図 29】(a) は変形例による光アイソレータ素子 110 が溝 93 に挿入された状態を部分的に示す略斜視図であり、(b) は変形例による光アイソレータ素子 110 を構成する複屈折素子 112, 113 の構造を部分的に示す略斜視図である。

【図 30】溝 93 に挿入可能な他の光アイソレータ素子 130 の構造を示す略斜視図である。

【図 31】溝 93 に光アイソレータ素子 130 を挿入した状態における各サーキュレータ 120 内の光路を説明するための模式図である。

【図 32】(a) は変形例による光アイソレータ素子 130 が溝 93 に挿入された状態を部分的に示す略斜視図であり、(b) は変形例による光アイソレータ素子 130 を構成する複屈折素子 132 ~ 135 の構造を部分的に示す略斜視図である。

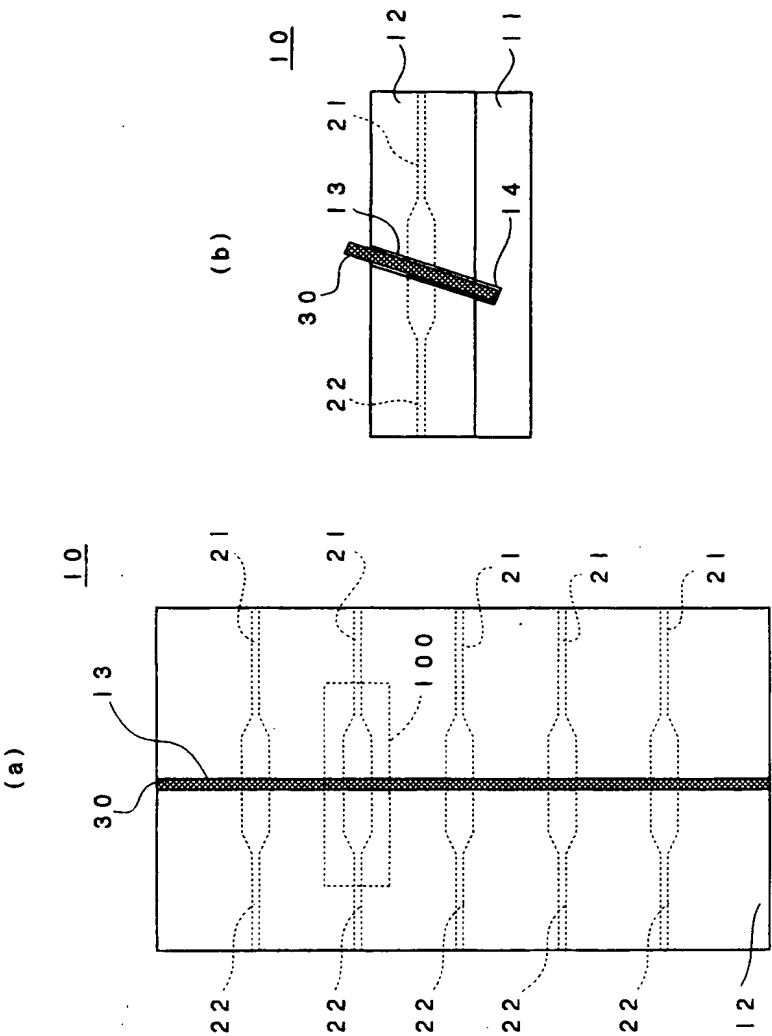
【図 33】回折現象に起因する損失発生のメカニズムを説明するための図であり、(a) はコア径が小さい場合、(b) とコア径が大きい場合を示している。

【符号の説明】

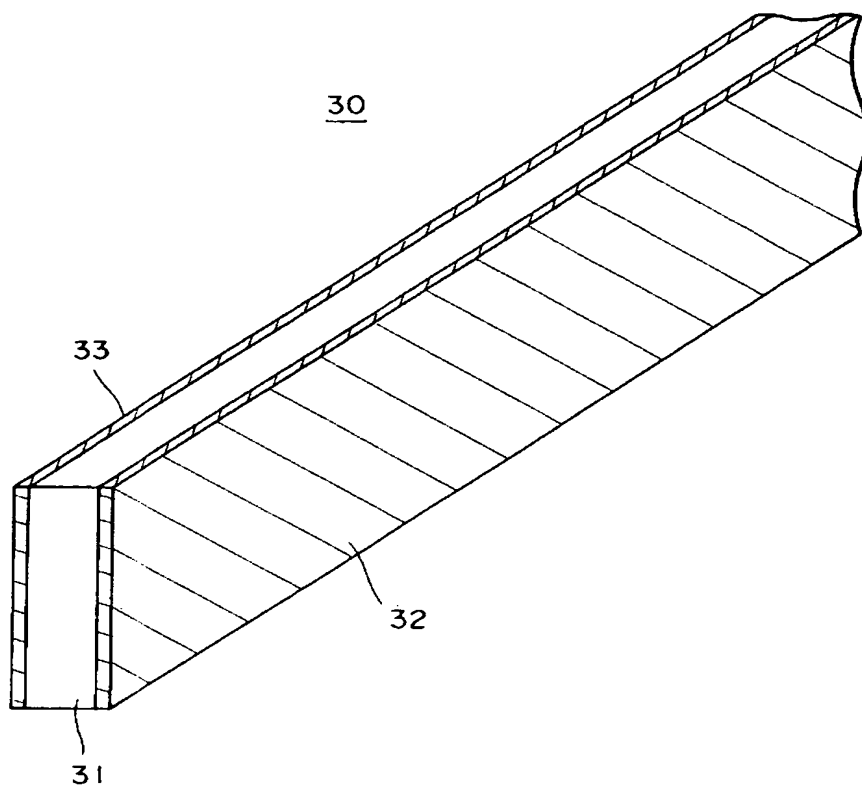
【0131】

- 10 導波路埋め込み型光回路 (光アイソレータアレイ)
- 11 基板
- 12, 92 導波路層
- 13, 93 溝
- 14 光学接着剤
- 21, 22, 201 ~ 208 埋め込み型光導波路
- 30, 50, 60, 70, 80, 110, 130 光アイソレータ素子
- 31, 51, 61, 71, 81, 111, 131 ファラデー回転子
- 32, 33, 52, 53 偏光子
- 61', 71' ファラデー回転子ウエーハ
- 62 ~ 65, 72 ~ 75, 82 ~ 85, 112, 113, 132 ~ 135 複屈折素子
- 69, 79 複屈折材料ウエーハ
- 90 導波路埋め込み型光回路 (光サーキュレータアレイ)
- 100 スポットサイズ変換素子を含む領域
- 102 下部クラッド
- 103 上部クラッド
- 104 コア領域
- 105 光学樹脂層
- 112a, 113a, 132a, 133a, 134a, 135a 櫛歯部分
- 112b, 113b, 132b, 133b, 134b, 135b 切り欠き部分
- 120 光サーキュレータ
- 211, 212 光分離結合部

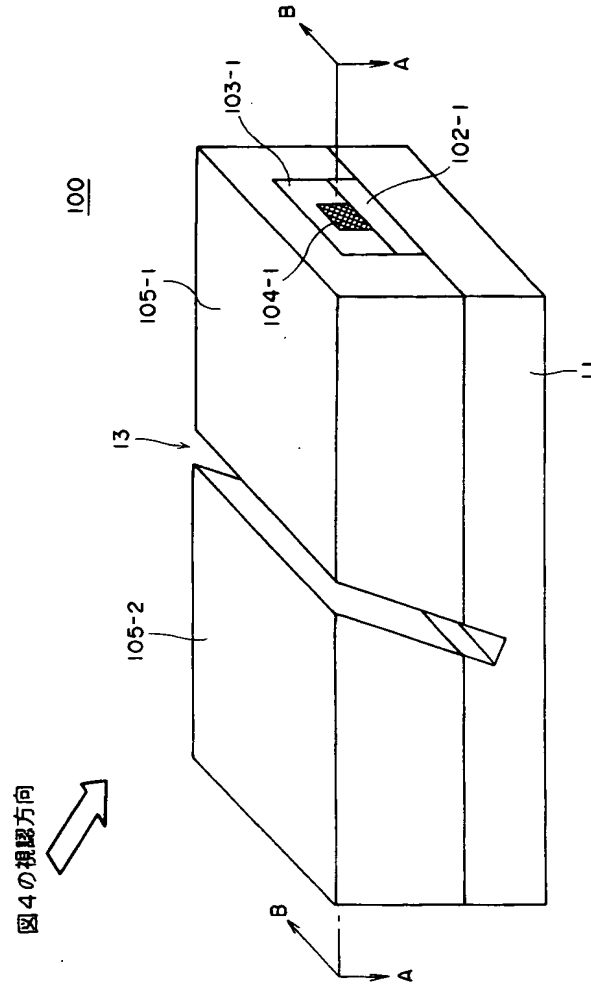
【書類名】 図面
【図 1】



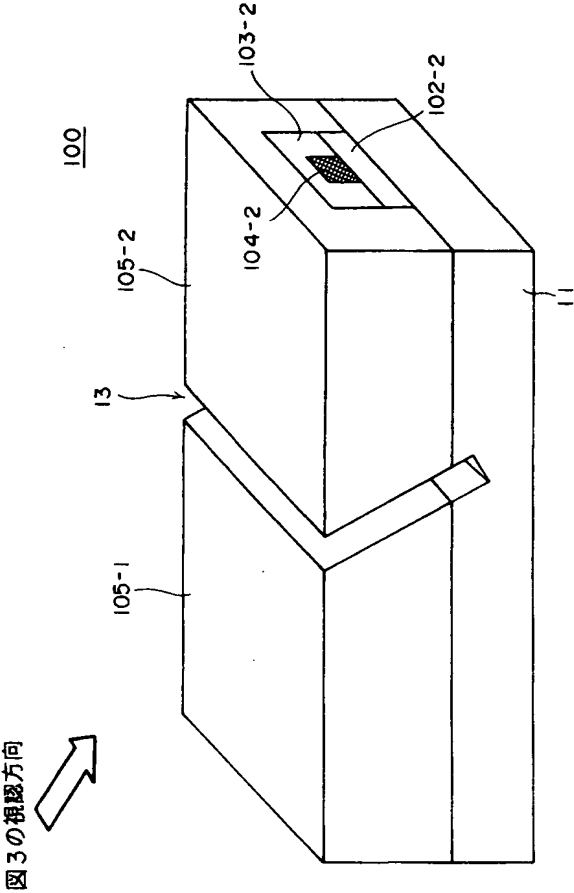
【図 2】



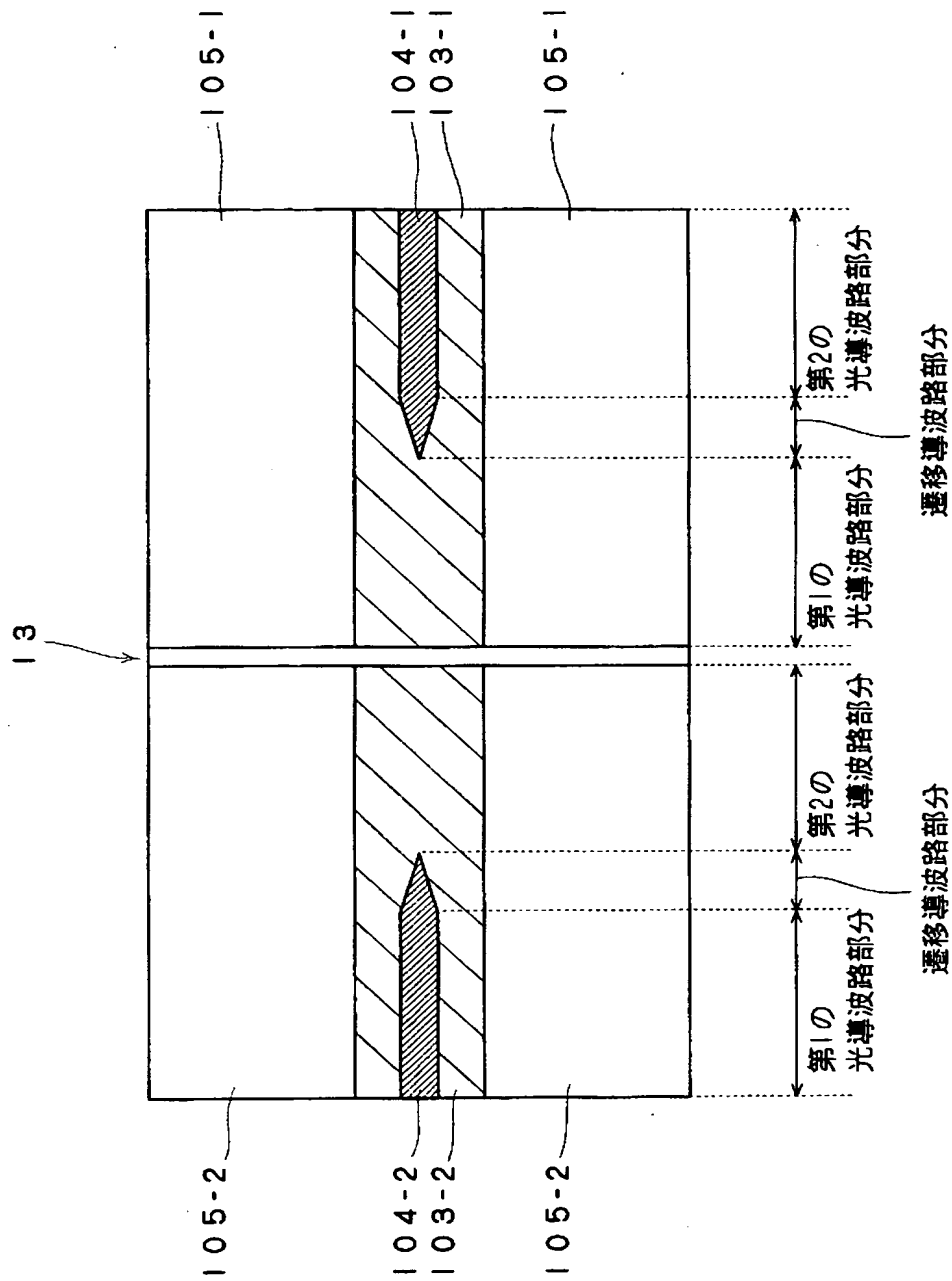
【図 3】



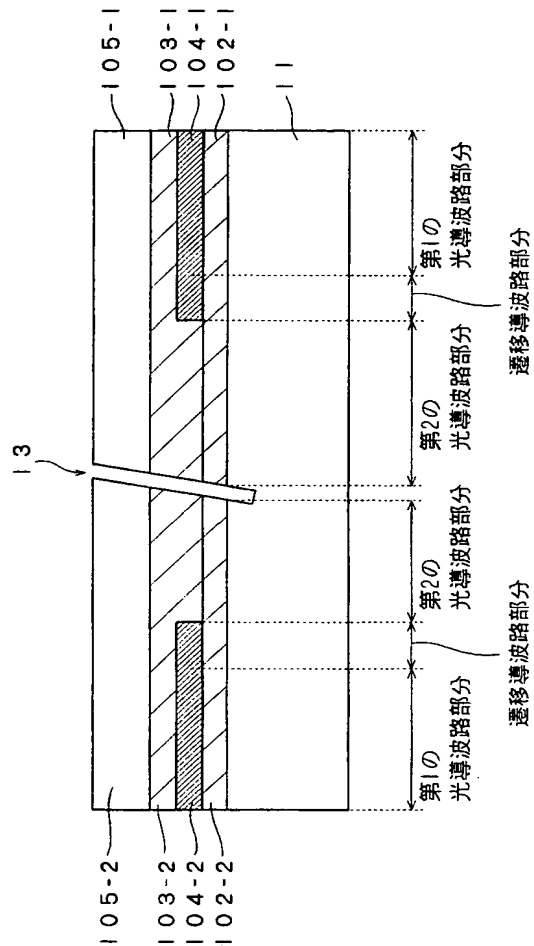
【図 4】



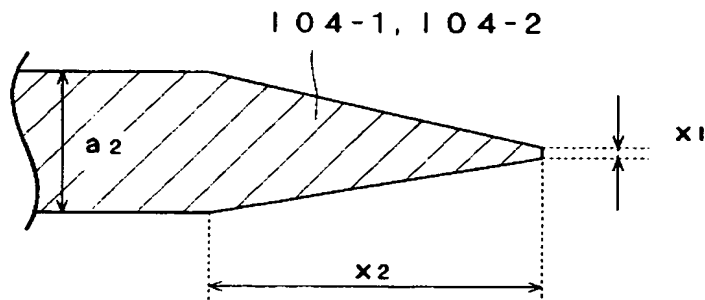
【図 5】



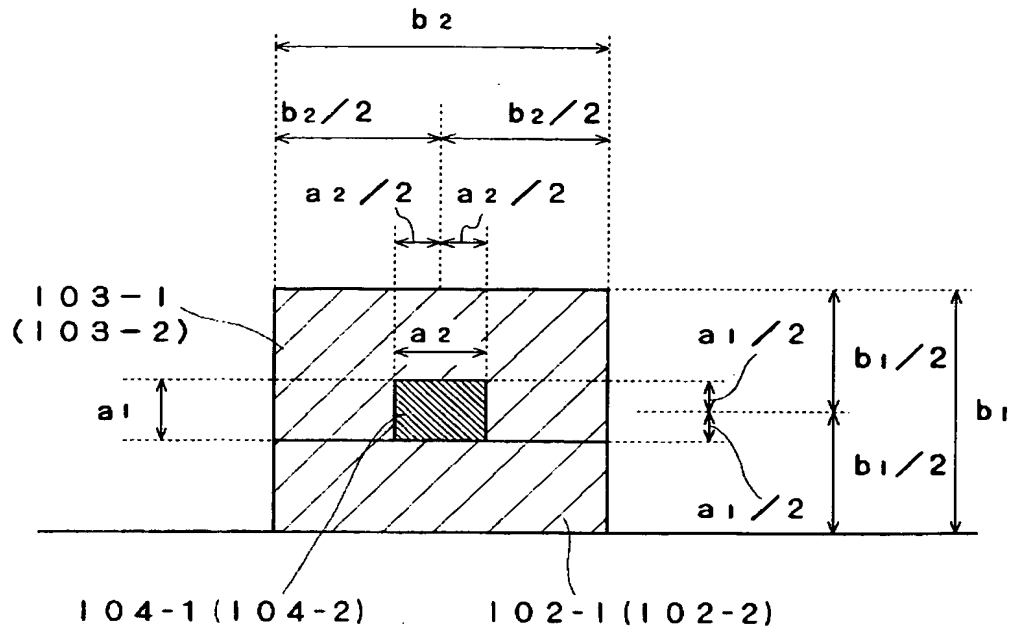
【図 6】



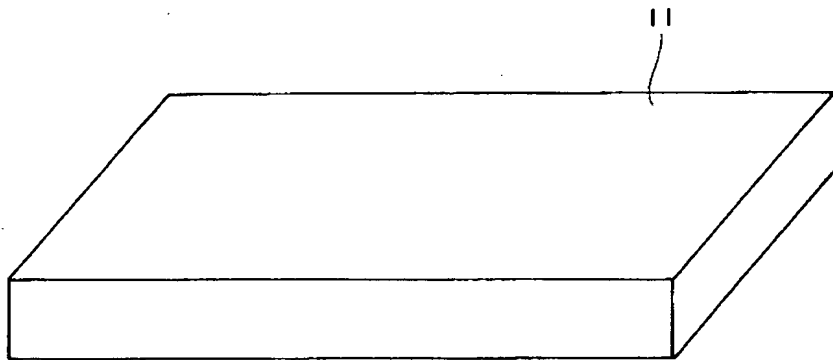
【図 7】



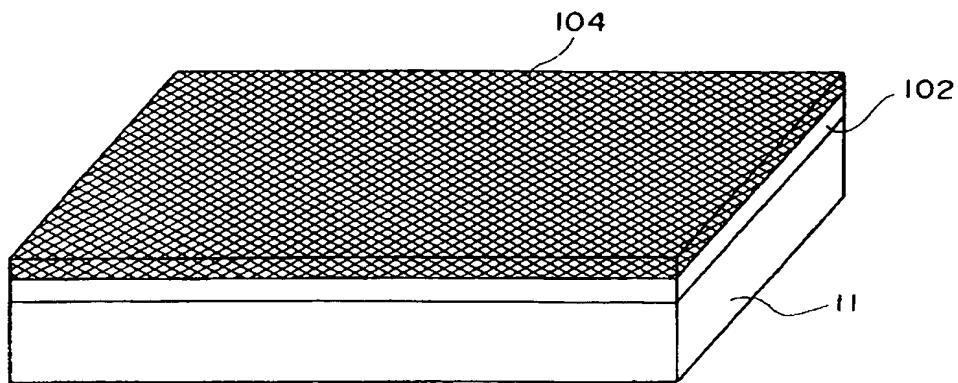
【図 8】



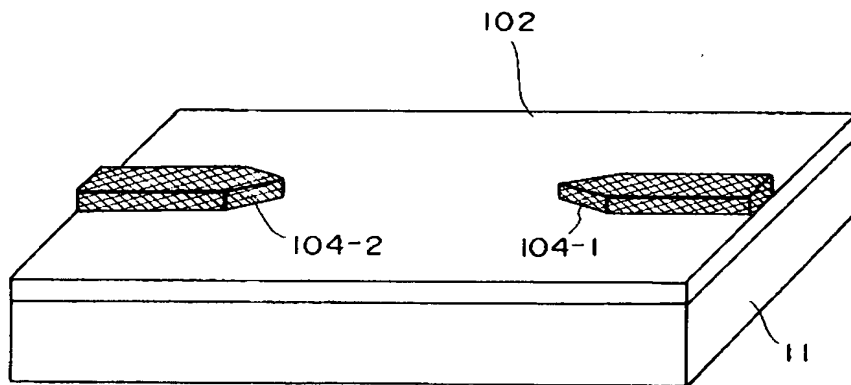
【図 9】



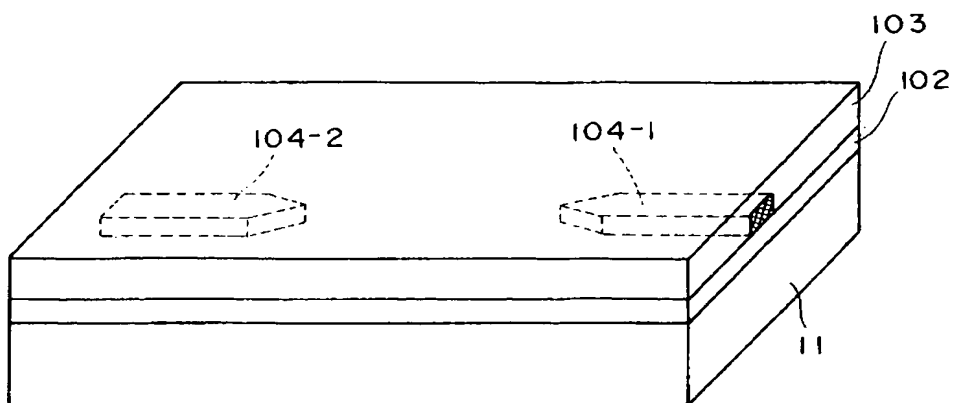
【図 10】



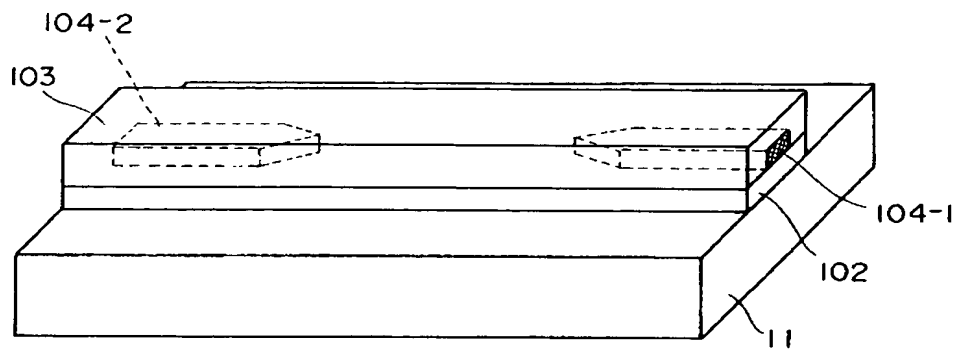
【図 11】



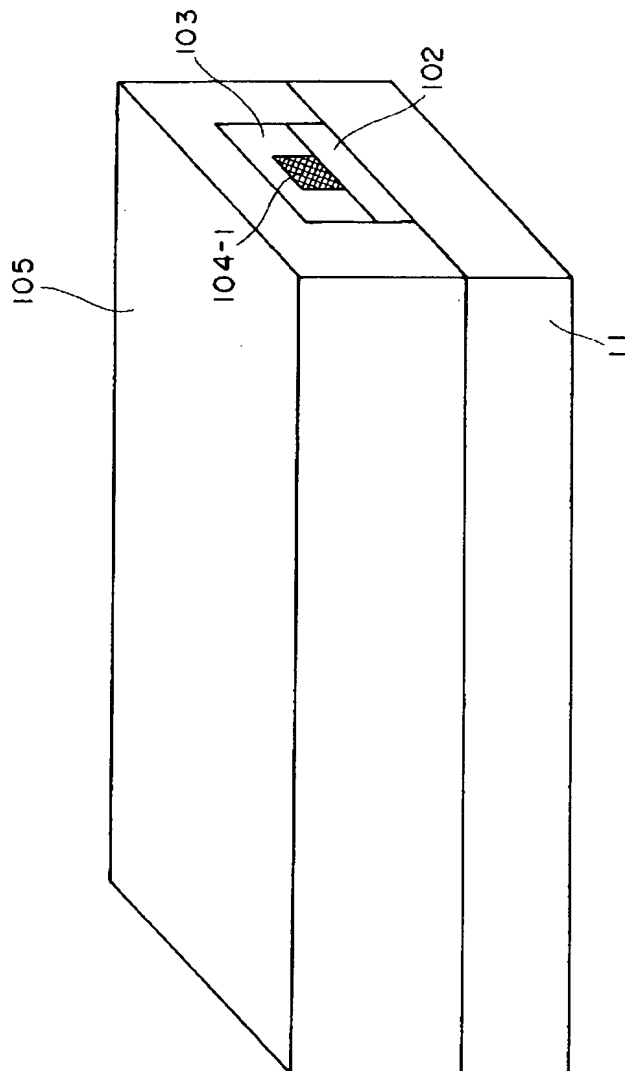
【図 12】



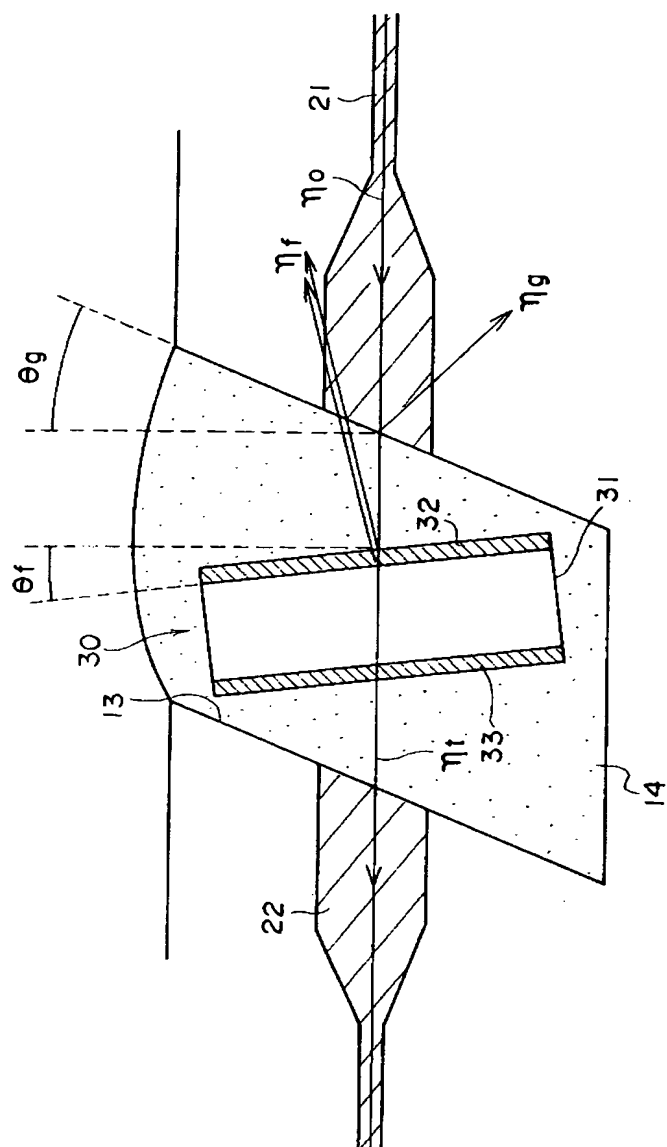
【図 13】



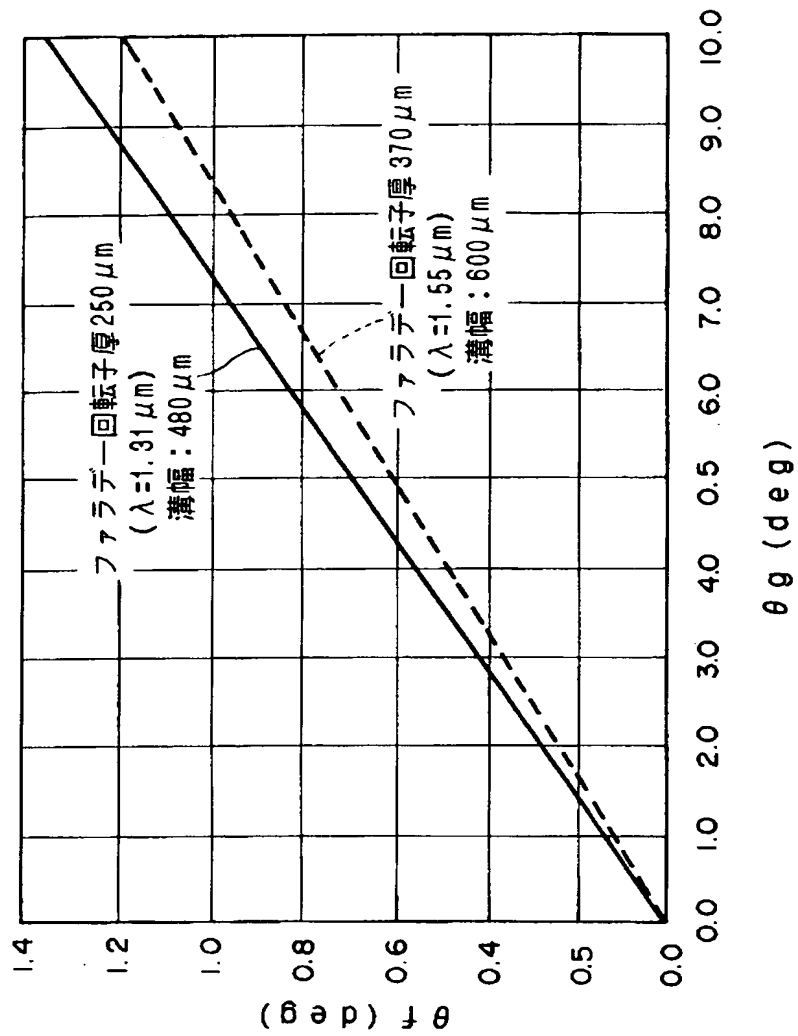
【図 14】



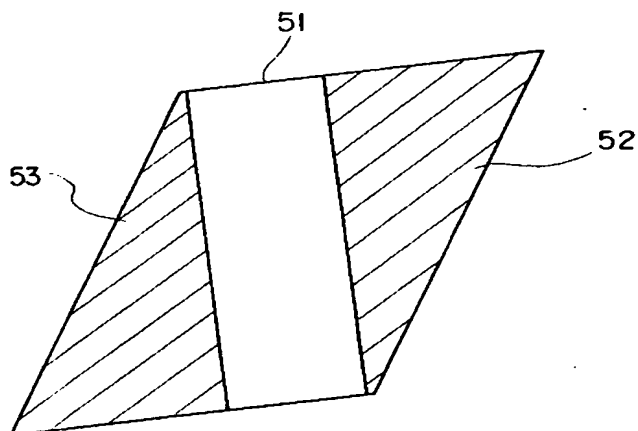
【図 15】



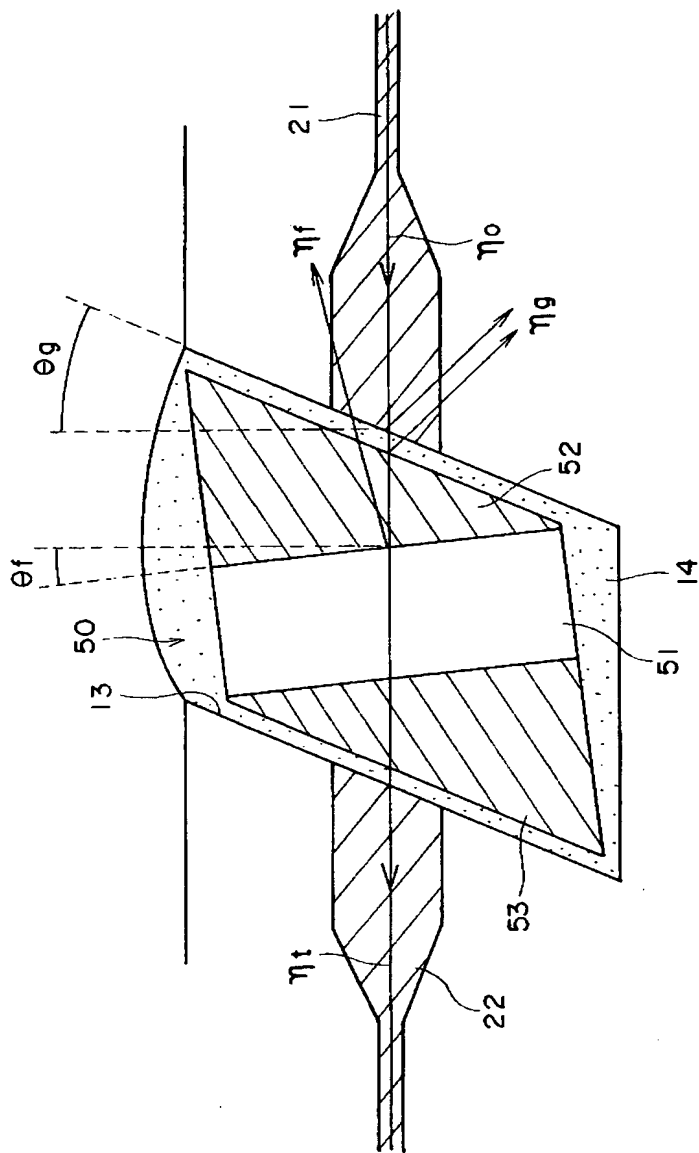
【図 16】



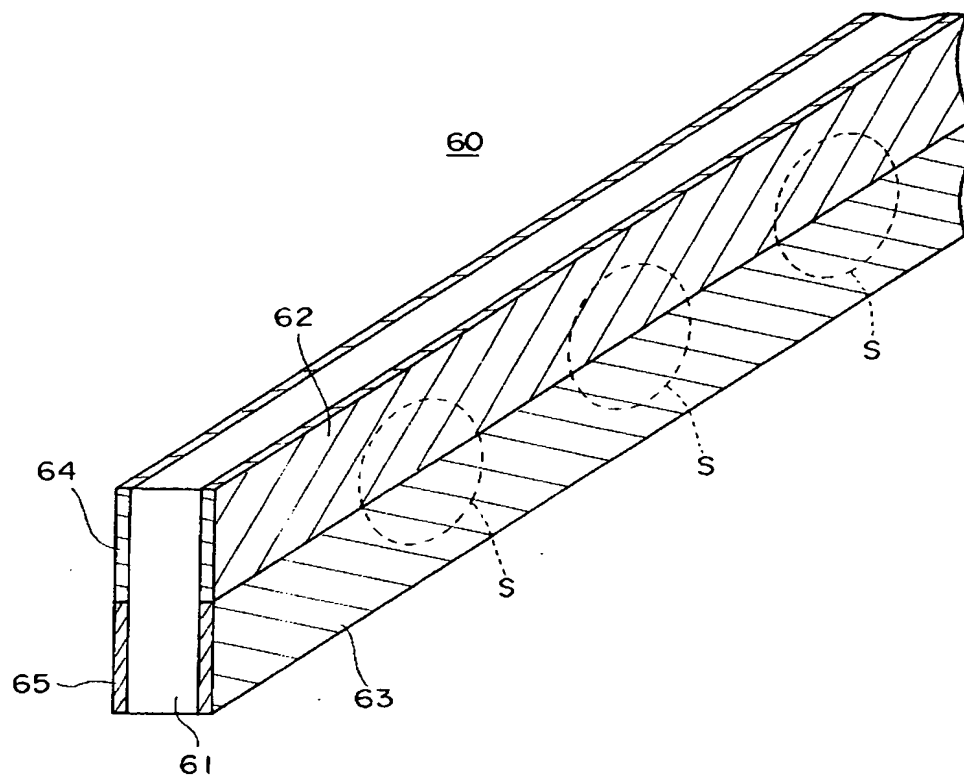
【図 17】



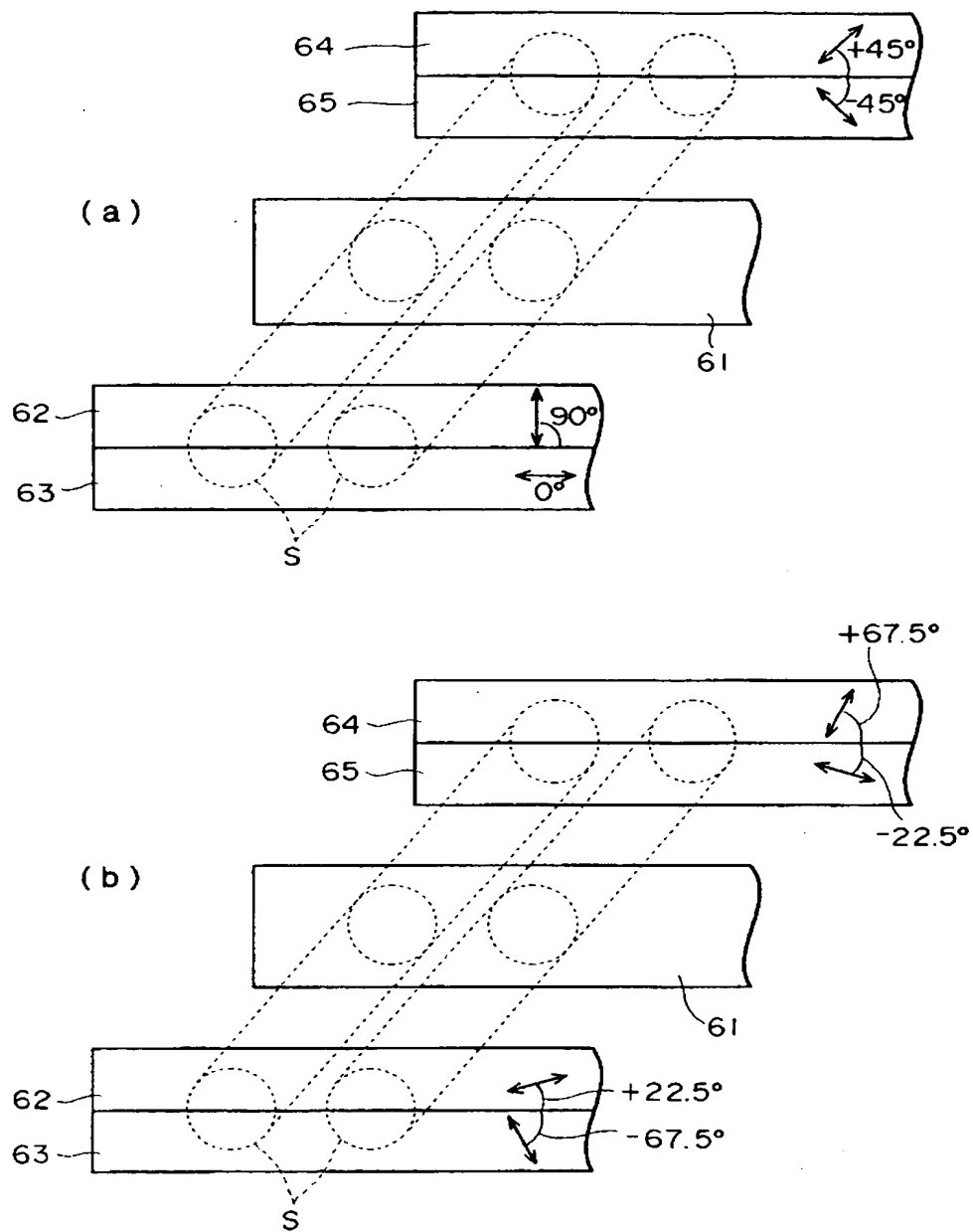
【図18】



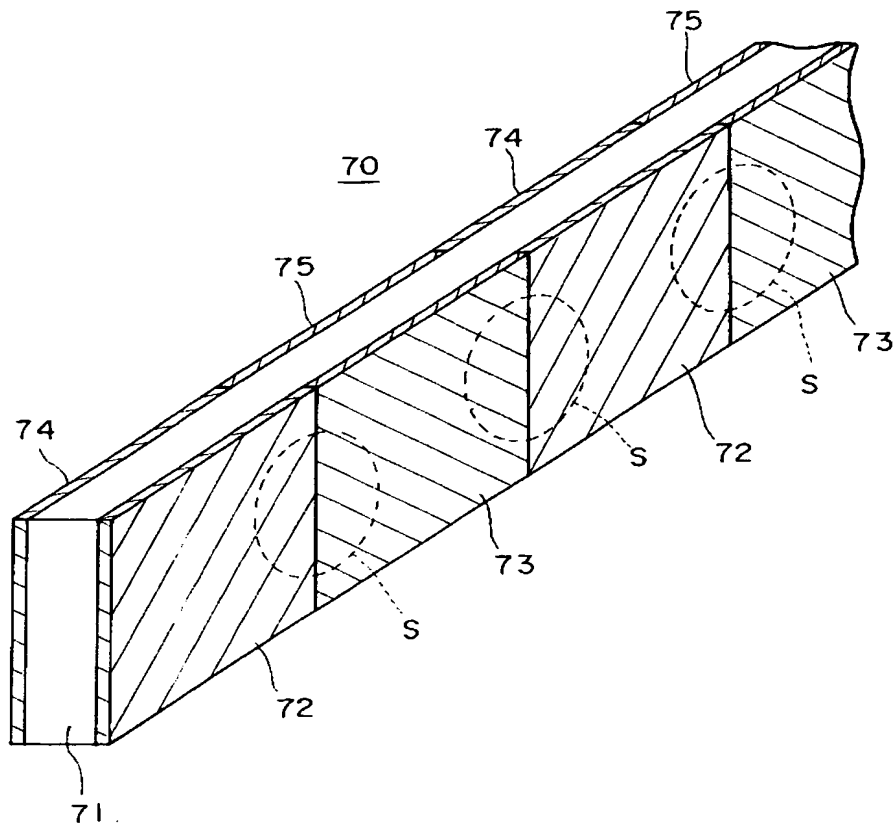
【図 19】



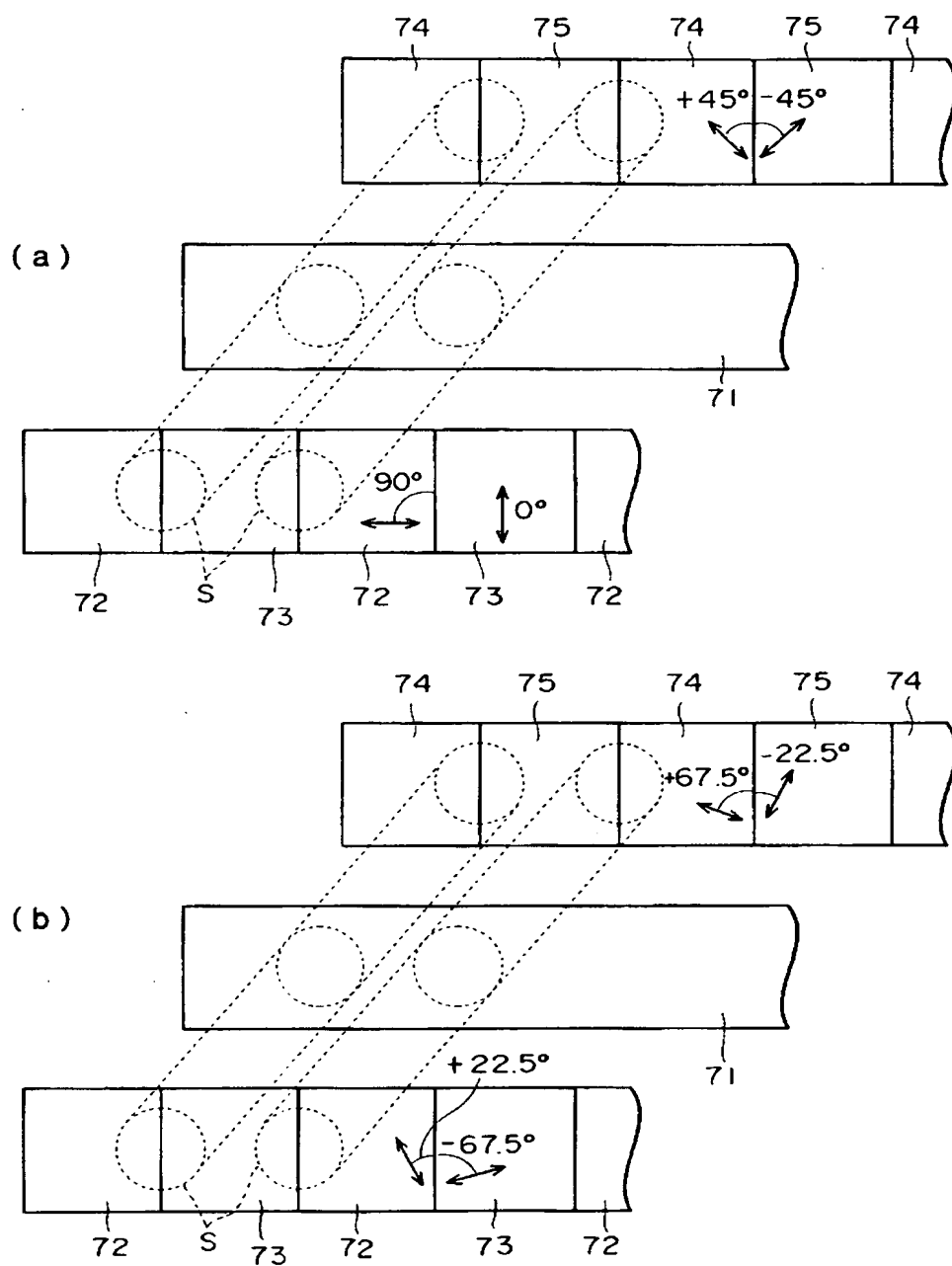
【図 20】



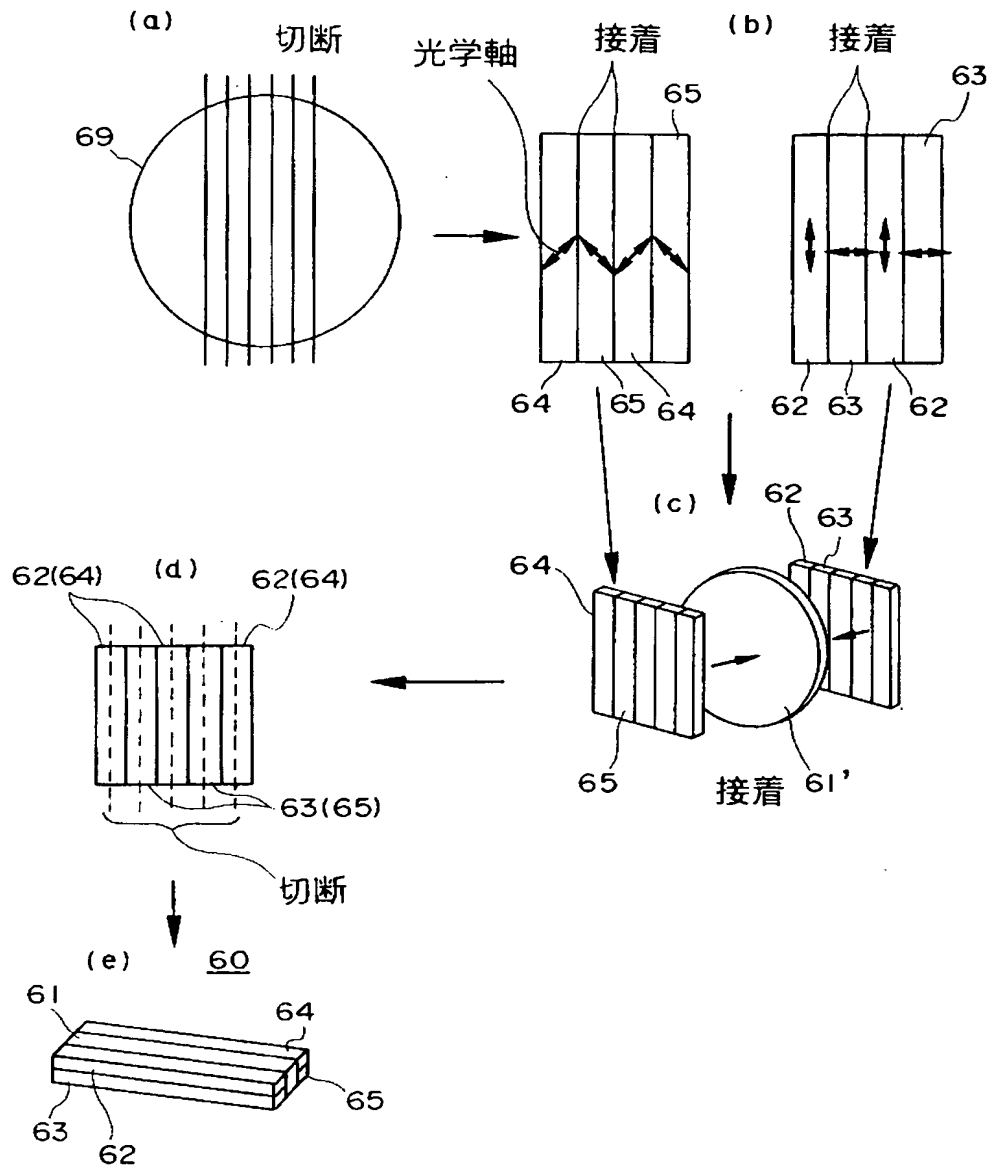
【図 21】



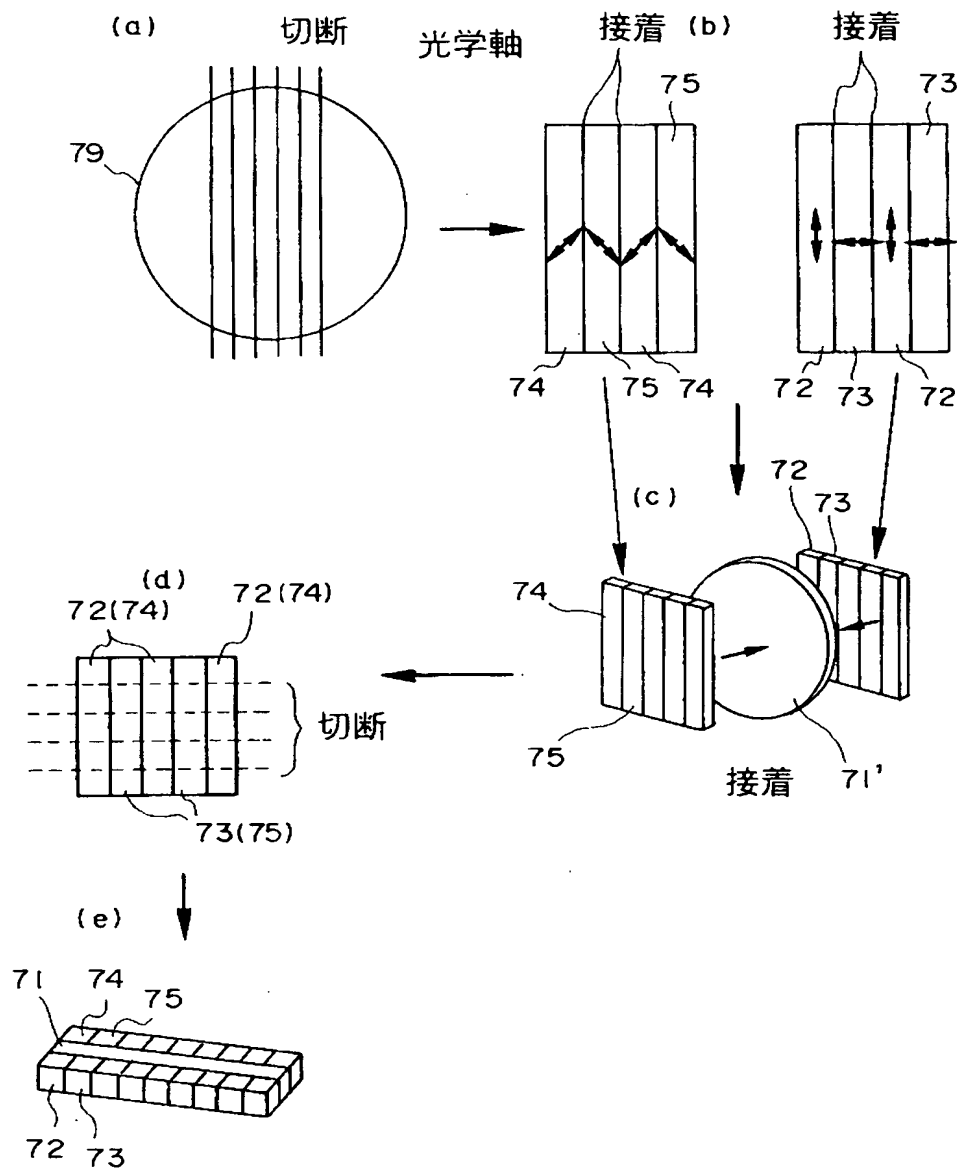
【図 22】



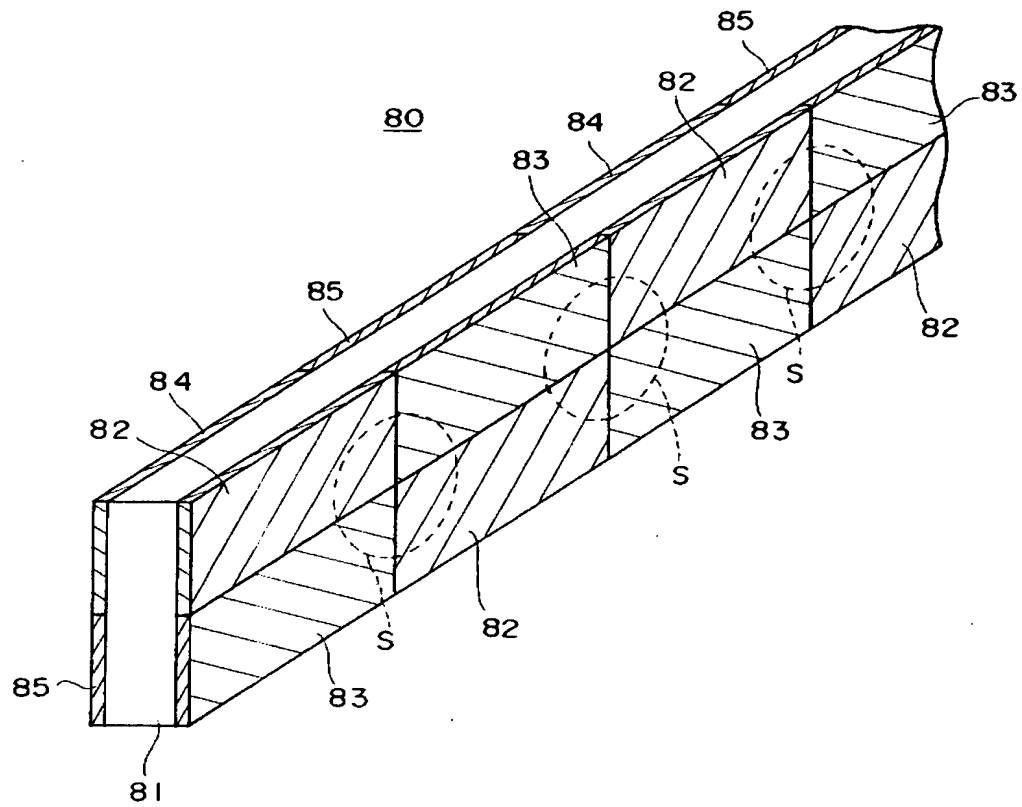
【図 23】



【図 24】

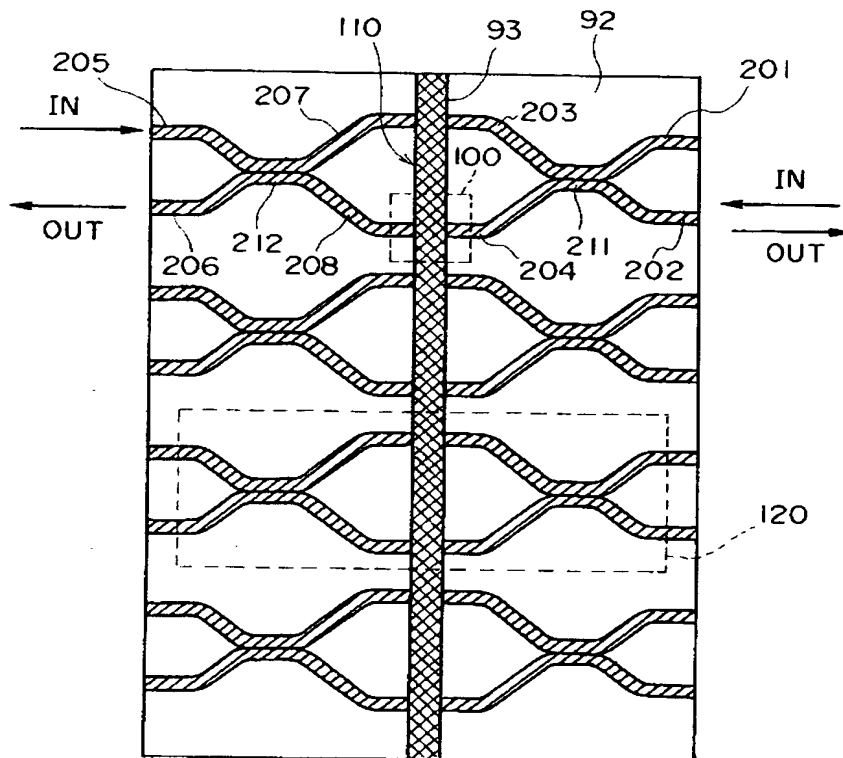


【図 25】

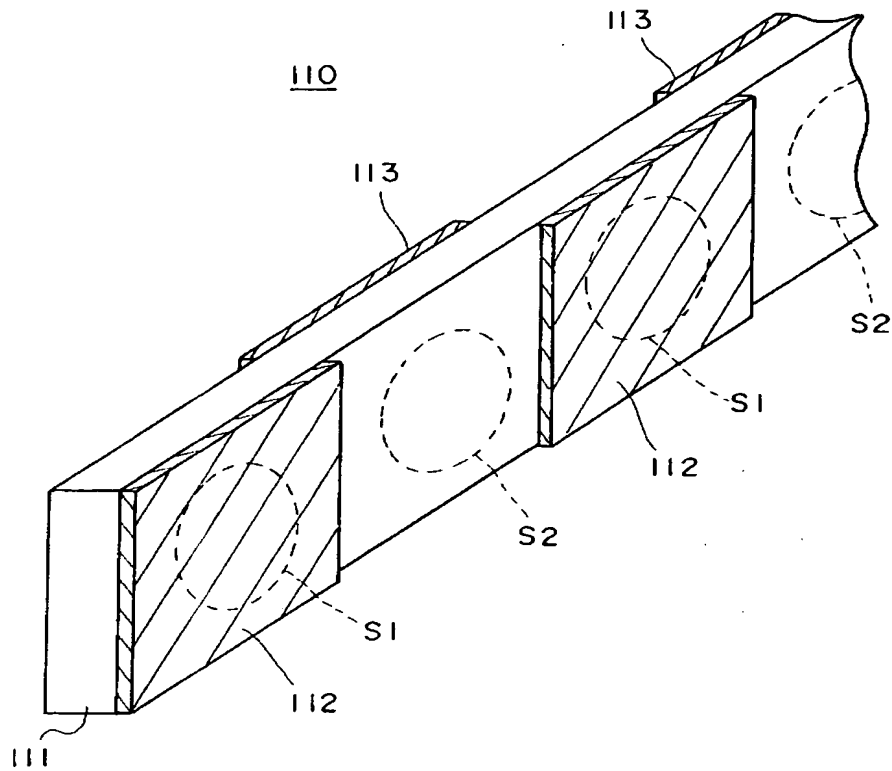


【図 26】

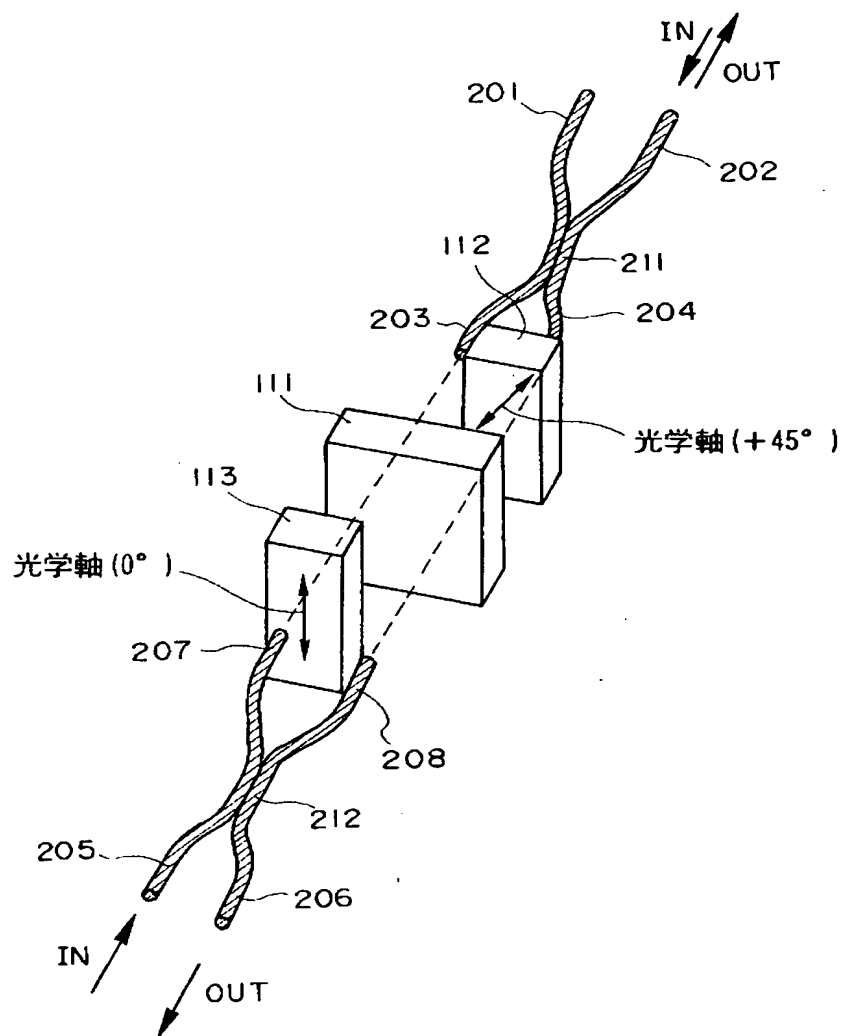
90



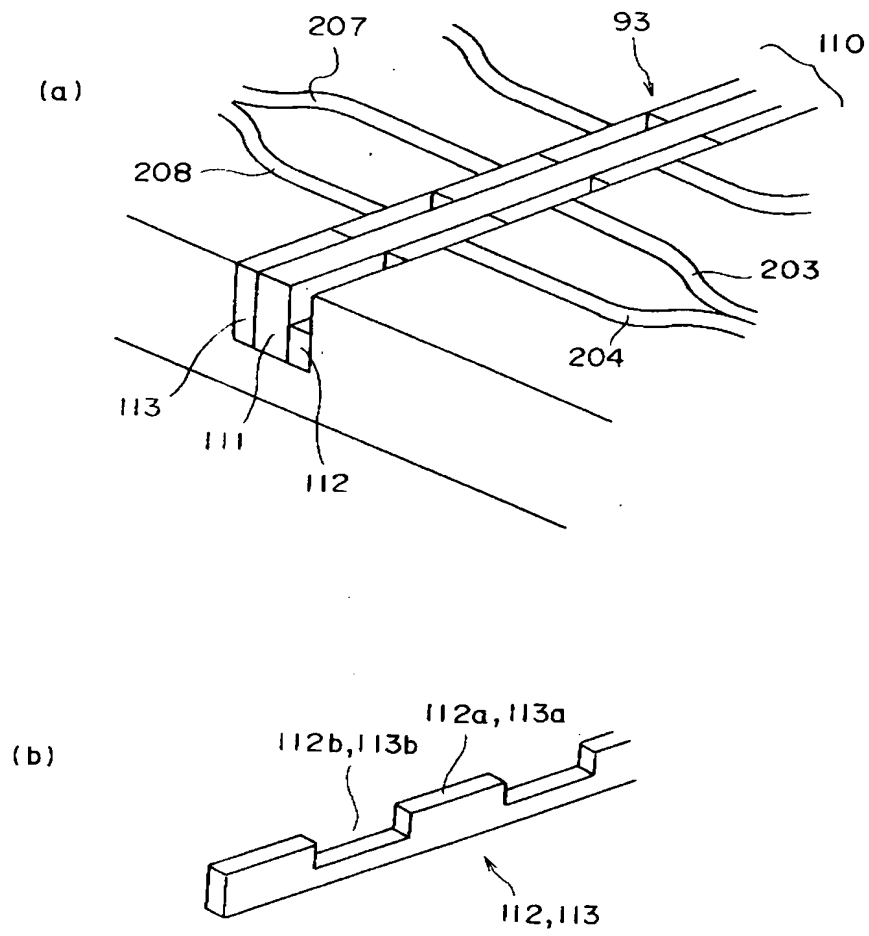
【図 27】



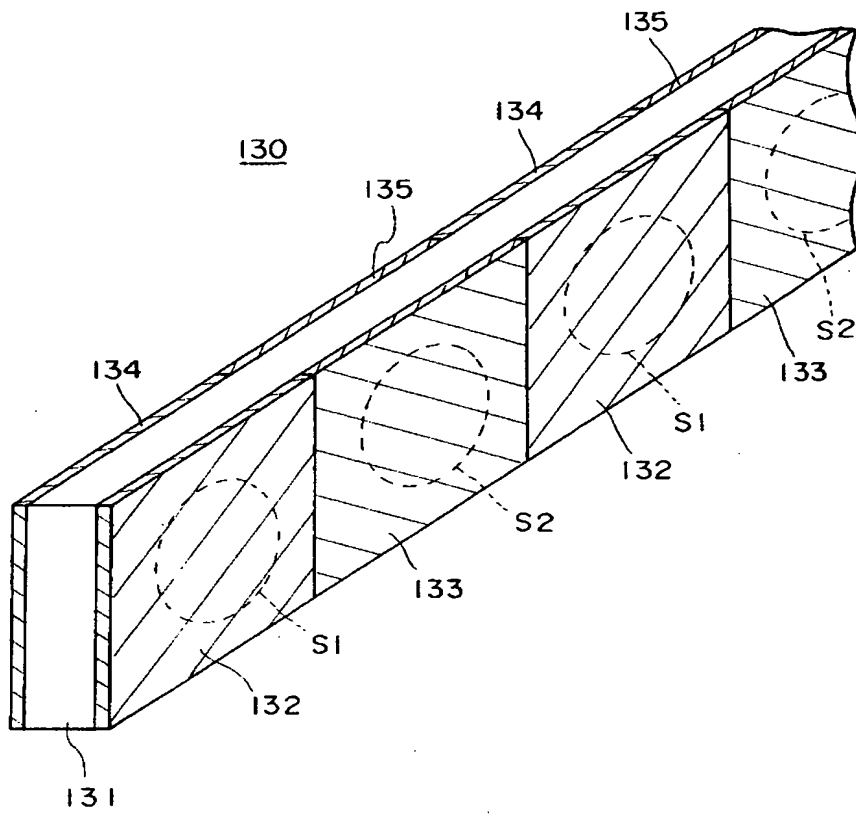
【図 28】



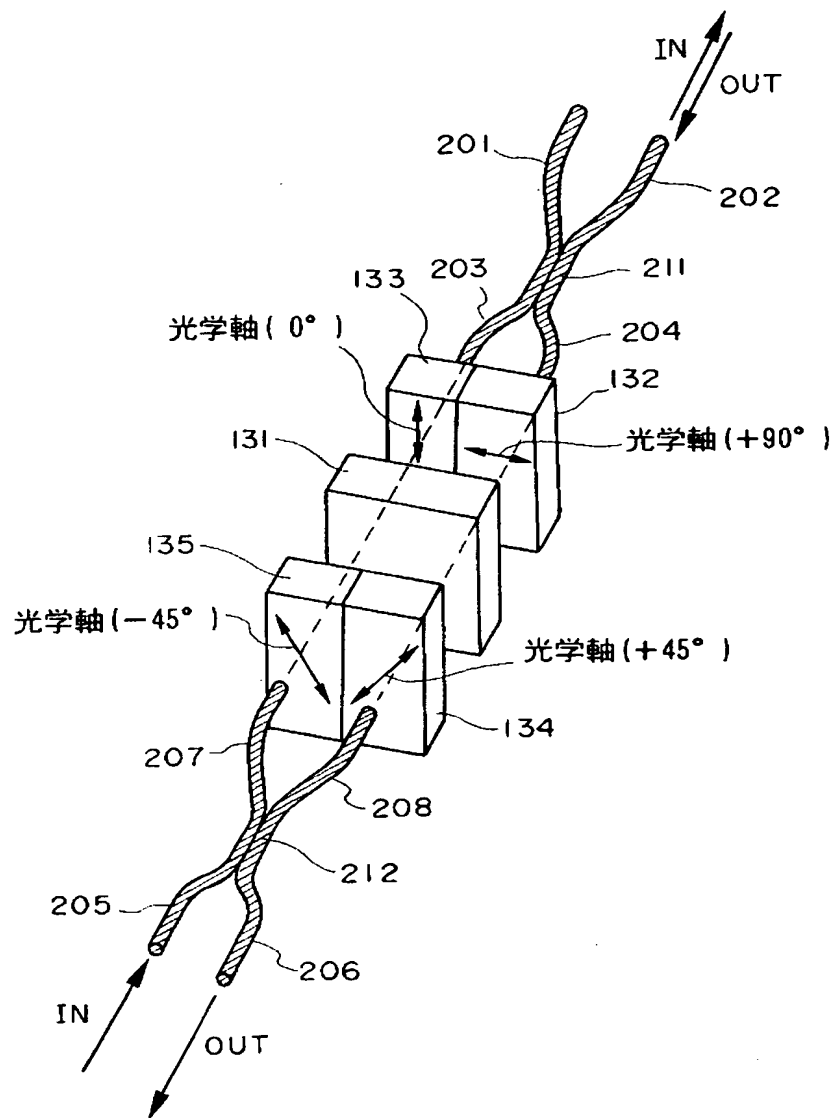
【図 29】



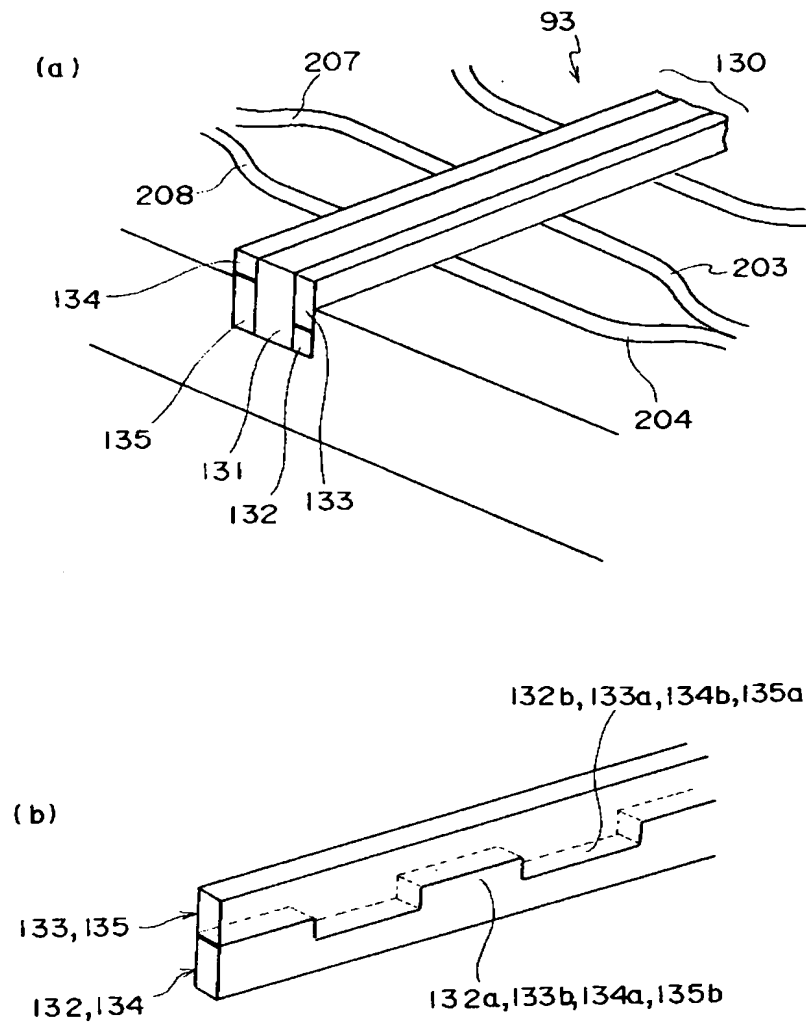
【図 30】



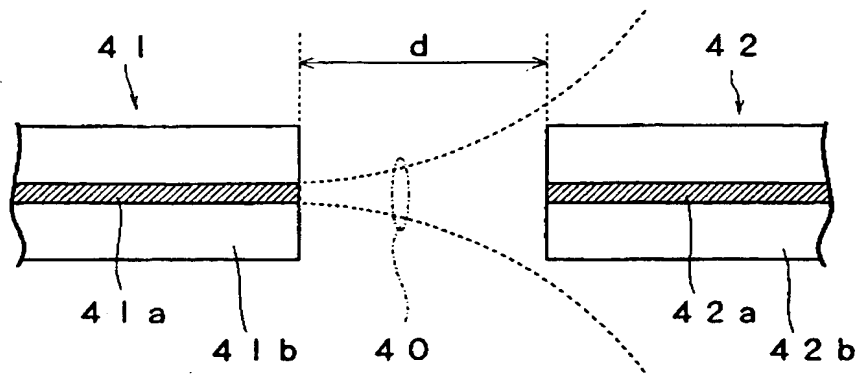
【図 31】



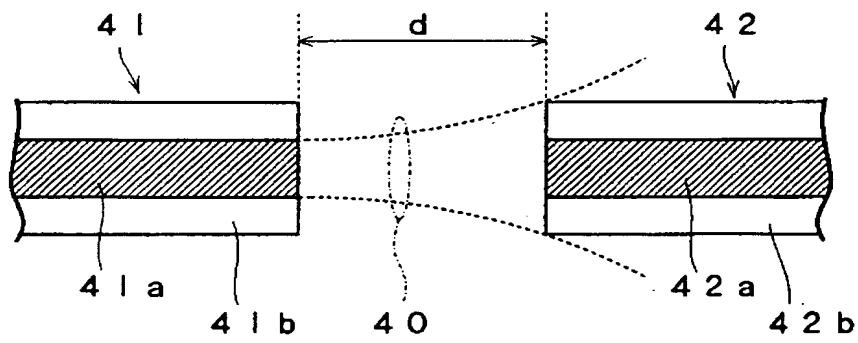
【図 32】



【図 33】



(a)



(b)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 アレイタイプの導波路埋め込み型光回路において溝部で発生する損失を低減する。

【解決手段】 導波路層 12 と、導波路層 12 に設けられた溝 13 と、溝 13 を介して対向する複数対のスポットサイズ変換素子とを備える。スポットサイズ変換素子は、いずれも、第 1 のコア及び第 1 のクラッドからなる第 1 の光導波路部分と第 1 のクラッドの延長部分である第 2 のコア及び第 2 のクラッドからなる第 2 の光導波路部分とを備えている。これによれば、ビームスポットが溝部において拡大されることから、回折現象に基づく損失を大幅に低減することが可能となる。これにより、小型化が可能であるという導波路埋め込み型の光回路の利点を活かしつつ、各チャンネルにおいて発生する回折損失を低減することが可能となる。

【選択図】 図 1

特願 2003-332640

出願人履歴情報

識別番号

[000003067]

1. 変更年月日

2003年 6月27日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

氏 名

TDK株式会社